

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí



**Železniční příhradový trémový most s dolní mostovkou, Turany,
Slovensko**

**Railway truss girder lower deck bridge in Turany, Slovak
Republic**

Študent:

Dolinajcová Monika

Vedúci bakalárskej práce:

Ing. Miroslav Rosmanit, Ph.D.

Ostrava 2021

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra konstrukcí

Zadání bakalářské práce

Student: **Monika Dolinajcová**
Studijní program: B3607 Stavební inženýrství
Studijní obor: 3607R037 Konstrukce staveb
Téma: **Železniční příhradový trámový most s dolní mostovkou, Turany,
Slovensko**
Railway truss girder lower deck bridge in Turany, Slovak Republic

Jazyk vypracování: slovenština

Zásady pro vypracování:

V rámci bakalářské práce vypracujte:

1. Teoretický rozbor ocelových příhradových s dolní prvkovou mostovkou pro železniční dopravu, konstrukční uspořádání, detaily, specifikace návrhu.
2. Možnosti rekonstrukce ocelových mostů, zesilování konstrukcí, ochrana.
3. Základní prohlídka a zaměření stávající konstrukce mostu, vyhotovení výkresové dokumentace současného stavu (příčný řez, pohled, současný stav, orientační měření korozních úbytků, definice problematických míst na konstrukci).
4. Předběžné (zjednodušené) posouzení hlavních nosných prvků mostu.
5. Statický výpočet rozhodujících nosných prvků a ztužení konstrukce s využitím 3D numerického modelu.
6. Návrh a posouzení vybraných spojů.
6. Doporučení pro zachování životnosti konstrukce, další doporučení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí.
- [2] ČSN EN 1991-2: Zatížení konstrukcí. Část 1: Zatížení mostů dopravou.
- [3] ČSN EN 1993-1-1: Navrhování ocelových konstrukcí. Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.
- [4] ČSN EN 1993-2 (736205) - Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 2: Ocelové mosty
- [5] ČSN EN 1993-1-8: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-8: Navrhování styčníků. Praha : ČNI, 2006.
- [6] ČSN 73 6201 – Projektování mostních objektů.
- [7] Rotter, T., Studnička, J.: Ocelové konstrukce 30 – Ocelové mosty, Praha, 1999
- [8] Tomica, V., Bujňák, J., Vičan, J.: Kovové mosty, Žilina, 1992
- [9] Faltus, F.: Ocelové mosty příhradové, obloukové a visuté. Academia Praha 1971
- [10] "Structural Steel Designer's Handbook" by R. L. Brockenbrough, P.E. & F. S. Merritt, P.E. 3rd edition, Section 14: Arch Bridges by Arthur W. Hedgren, Jr., P.E., Sr. Vice President, HDR Engineering, Inc., Pittsburgh, PA., Published by McGraw-Hill, Inc.
- [11] Sukhen Chatterjee: The Design of Modern Steel Bridges, Second edition, Oxford 2003, ISBN 0-632-05511-1

- [12] Odborné časopisy – Konstrukce, Stavitel, Structural Engineering, Stahlbau
[13] Internet

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Miroslav Rosmanit, Ph.D.**

Datum zadání: 31. 10. 2019

Datum odevzdání: 30. 04. 2020

prof. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Prehlásenie študenta

Prehlasujem, že som celú bakalársku prácu vrátane príloh vypracovala pod vedením
Ing. Miroslav Rosmanit, Ph.D a uviedla všetku použitú literatúru a podklady.

V Ostrave dňa 29.04.2021

.....

Dolinajcová Monika

Prehlasujem, že

- som bola oboznámená s tým, že na moju bakalársku prácu sa vzťahuje zákon 121/2000 Zb. – autorský zákon, najmä § 35 – použitie diela v rámci občianskych a náboženských obradov, v rámci školských predstavení a použitie diela školského § 60 – školské dielo.
- beriem na vedomie, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (ďalej len VŠB-TUO) má právo neziskovo pre svoje vnútorné potreby bakalársku prácu použiť (§ 35 odst. 3).
- súhlasím s tým, že údaje o bakalárskej práci budú zverejnené v informačnom systéme VŠB-TUO.
- bolo dojednané, že s VŠB-TUO, v prípade záujmu z jej strany, uzatvorím licenčnú zmluvu s oprávnením použiť dielo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bolo dojednané, že použiť svoje dielo – bakalársku prácu alebo poskytnúť licenciu na jej použitie môžem len so súhlasom VŠB-TUO, ktorá je oprávnená v takom prípade odo mňa požadovať primeraný príspevok na uhradenie nákladov, ktoré boli VŠB-TUO vynaložené (až do ich skutočnej výšky).
- beriem na vedomie, že odovzdaním svojej práce súhlasím so zverejnením svojej práce podľa zákona č. 111/198 Zb., o vysokých školách a o zmene a doplnení ďalších zákonov (zákon o vysokých školách), v znení neskorších predpisov, bez ohľadu na výsledok jej obhajoby.

V Ostrave dňa 29.04.2020

.....

Dolinajcová Monika

Pod'akovanie

Touto cestou by som sa veľmi rada pod'akovala všetkým, ktorí mi boli oporou počas celého štúdia a najmä pri tvorbe tejto práce. Predovšetkým veľké ďakujem patrí vedúcemu bakalárskej práce Ing. Miroslavovi Rosmanitovi Ph.D. za jeho odbornú a profesorskú pomoc. A druhé veľké ďakujem patrí rodine a priateľom, za ich nesmiernu trpezlivosť a neoceniteľné odborné rady.

Anotácia

V mojej bakalárskej práci sa zaoberám priehradovým železničným mostom. Práca je rozdelená na teoretickú a praktickú časť. V teoretickej časti sa zaoberá samotnou konštrukciou mostu, poruchami, možnou údržbou a rekonštrukciou. V praktickej časti sa venujem ručnému prepočtu niektorých častí mostu v porovnaní s vytvoreným modelom a výpočtom v programe. Záver práce sa venuje analýze a vyhodnoteniu konštrukcie.

Kľúčové slová

železničný most; priehradový most; trámový most; rekonštrukcia ocelových mostných konštrukcií; statický posudok

Annotation

The bachelor thesis deals with a dam railway bridge. The work is divided into theoretical and practical part. The theoretical part deals with the actual construction of the bridge, failures, possible maintenance and reconstruction. The practical part deals with the manual recalculation of some parts of the bridge in comparison with the created model and the calculation in the program. The conclusion of the work is devoted to the analysis and evaluation of the structure.

Key words

railway bridge; truss girder; girder bridge; reconstruction of steel bridge construction; static report

Citácia

DOLINAJCOVÁ, Monika. *Železniční příhradový trámový most s dolní mostovkou, Turany, Slovensko*. Ostrava, 2021. Bakalárska práca. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební. Vedúci práce Ing. Miroslav Rosmanit, Ph.D.

OBSAH

OBSAH	8
Zoznam obrázkov	10
Zoznam tabuliek	13
Značenie	14
1. Úvod.....	15
2. Teoretický úvod do priehradových trámových mostov s dolnou mostovkou.....	16
2.1. Priestorové a dispozičné usporiadanie.....	17
2.1.1. Voľba geometrie.....	17
2.1.2. Výška nosníka	18
2.1.3. Voľba mostovky	19
2.1.4. Ložiská	21
2.1.5. Vybrané spoje a detaily oceľových mostov	22
3. Poruchy, údržba a rekonštrukcia železničných oceľových mostov [4] [5]	24
3.1. Druhy porúch	24
3.2. Príčiny a následky najčastejších porúch mostov [5].....	25
3.3. Rekonštrukcia [4]	26
3.4. Zosilňovanie [4] [5]	27
3.5. Ochrana [4]	29
4. Prehliadka a zameranie mostu	30
4.1. História mostu.....	30
4.2. Konštrukcia a geometria mostu	32
4.3. Súčasný stav	35
5. Zaťaženie mostu.....	36
5.1. Dopravou – zaťažovací model 71 (LM 71)	36
5.2. Bočné nárazy	37
5.3. Rozjazdová a brzdná sila	37
5.4. Zaťaženie vetrom.....	37
6. Ručný výpočet	40
6.1. Zjednodušená analýza konštrukcie	40
6.1.1. Pozdĺžnik.....	40

6.1.2.	Priečnik.....	43
6.1.3.	Hlavný nosník	44
6.2.	Posúdenie prútov hlavného nosníka	50
6.3.	Zhrnutie posúdenia prvkov	54
7.	Výpočtový model v programe SCIA Engineer	55
7.1.	Modelovanie zaťaženia.....	57
7.2.	Posúdenie prvkov konštrukcie	59
7.3.	Posúdenie priehybu mostu	60
8.	Porovnanie výpočtov	61
9.	Posúdenie vybraných spojov.....	62
10.	Odporúčania pre zachovanie konštrukcie	68
11.	Záver.....	69
12.	Zoznam použitej literatúry	70
13.	Zoznam príloh	71

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obrázok 1: Rôzne typy priehradových sústav: a) bezzvislicová; b) zvislicová; c) jednosmerná; d) rombická;	17
Obrázok 2: Krivopásové priehradové nosníky a)most s dolnou mostovkou; b)most s hornou mostovkou	17
Obrázok 3: Vplyv estetického hľadiska na tvar priehradových hlavných nosníkov mostu o niekoľkých poliach a)premostenie s nevhodným popisom; b)vhodné riešenie	18
Obrázok 4: Rez a pôdorys mostovky s priamym uložením koľajníc [1]	19
Obrázok 5: Rez a pôdorys prvkovej mostovky [1]	19
Obrázok 6: Uloženie mostníc a) plošné; b) centrické [1].....	20
Obrázok 7: Rez a pôdorys mostovky s priebežným koľajovým lôžkom [1].....	21
Obrázok 8: Navrhnuté ložiska podľa projektovej dokumentácie predmetného mostu, vľavo pevné ložisko a vpravo pohyblivé	21
Obrázok 9: Nevhodná koncepcia: a)nevhodný spoj pozdĺžnika s priečnikom; b)nevhodný spoj priečnika s hl. nosníkom; c)excentrické pripojenie prútov	22
Obrázok 10: Pripojenie priečnikov k zvislici [2]	23
Obrázok 11: Konštrukčné riešenie prípoja pozdĺžnika na priečnik [10].....	23
Obrázok 12: Schéma rozdelenia chýb nedokonalosti na mostnom objekte [5]	25
Obrázok 13:Zosilnenie zložených prierezov [11]	27
Obrázok 14: Geografická poloha mostu.....	30
Obrázok 15: Zničený most z roku 1945.....	30
Obrázok 16: Súčasný stav mostu	30
Obrázok 17: Obnovenie povrchu konštrukcie [7]	31
Obrázok 18: Pohľad zo spodu [7]	31
Obrázok 19: Schéma konštrukcie.....	32
Obrázok 20: Prierezy: a)horný pás; b)dolný pás; c)zvislica; d)prvá ťahaná a druhá tlačená diagonála; e)priečniky; f)pozdĺžnik.....	33
Obrázok 21: Pohľad na podmostovkové stuženie	34
Obrázok 23: Pohľad na nadmostovkové stuženie	34
Obrázok 23: Prechod výšky krajného poľa na medziľahlé pole	34
Obrázok 24:Nečistoty v styčníku (pripojenie zvislice a diagonály k spodnému pásu) priehradovej konštrukcie	35
Obrázok 25:Kórozia pozdĺžnika v mieste uloženia mostníc	35

Obrázok 26: Pohľad na napojenie pozdĺžnika na priečnik.....	35
Obrázok 27: Usporiadanie zaťažovacieho modelu 71	36
Obrázok 28: Naznačenie sily pre Winklerové kritérium.....	41
Obrázok 29: Naznačenie výpočtu Bremenového kritéria.....	41
Obrázok 30: Naznačenie kritickej polohy	41
Obrázok 31: Naznačenie sily pre Winklerové kritérium pre pozdĺžnik $l = 4,34$ m	41
Obrázok 32: Prierez posudzovaného pozdĺžnika	43
Obrázok 33: Schéma zaťaženia priečnika	43
Obrázok 34: Prierez posudzovaného priečnika	44
Obrázok 35: Postup zjednodušeného výpočtu osových síl a) schéma priehradového nosníka; b) momenty v pridružených momentových stredoch; c) priečne sily od rovnomerného zaťaženia; d) vplyvová čiara priečnej sily [1]	44
Obrázok 36: Schéma zaťaženia zjednodušeného modelu	45
Obrázok 37: Poloha zaťaženia pre bod 1 (zelené), 2(červená), 3(modrá)	46
Obrázok 38: Poloha zaťaženia pre bod 4 (ružová), 5(čierna), 6(fialová).....	46
Obrázok 39: Priebeh posúvajúcich síl od vlastnej hmotnosti	47
Obrázok 40: Schéma vplyvových čiar pre max. posúvajúcu silu v uzle 1	47
Obrázok 41: Schéma vplyvových čiar pre max. posúvajúcu silu v uzle 3	48
Obrázok 42: Prierez dolného pásu	50
Obrázok 43: Prierez horného pásu	50
Obrázok 44: Prierez prvej diagonály.....	52
Obrázok 45: Prierez druhej diagonály (D2)	52
Obrázok 46: Model konštrukcie mosta	55
Obrázok 47: Horné stuženie - prvý portál mosta	56
Obrázok 48: Pripojenie priečnika a spodného stužidla	56
Obrázok 49: Pripojenie pozdĺžnikov a stuženia pozdĺžnikov	56
Obrázok 50: Uloženie mostníc.....	57
Obrázok 51: Príklady zaťaženia a) priečny vietor; b) brzdná sila; c) zaťaženie LM71 v styčníku č.3.....	57
Obrázok 52: Ukážka zaťažovacieho stavu gr11 v styčníku č.5	58
Obrázok 53: Grafické znázornenie priehybu most.....	60
Obrázok 54: Pripojenie pozdĺžnika na priečnik	62
Obrázok 55: Naznačenie 1.spôsobu porušenia [13]	63
Obrázok 56: Naznačenie 2.spôsobu porušenia [13]	64

Obrázok 57: Naznačenie 3.spôsobu porušenia [13]	64
Obrázok 58: Schéma pre posúdenie na strih	65
Obrázok 59: Schéma výslednice síl	66

ZOZNAM TABULIEK

Tabuľka 1: Hospodárna výška priehradových nosníkov v strede rozpätia [3].....	18
Tabuľka 2: Prehľad najčastejších porúch na oceľových mostoch [5]	26
Tabuľka 3: Určenie referenčnej plochy.....	38
Tabuľka 4: Orientačný výpočet pomocou zjednodušených vzťahov	42
Tabuľka 5: Ostaté zaťaženie pre pol mosta.....	45
Tabuľka 6: Hodnoty ohybových momentov	46
Tabuľka 7: Výpočet posúvajúcich síl v uzle 1	47
Tabuľka 8: Výpočet posúvajúcich síl v uzle 3	48
Tabuľka 9: Hodnoty posúvajúcich síl od vlastnej tiaže, od LM 71 a celková hodnota	48
Tabuľka 10: Hodnoty normálových síl v hornom a dolnom páse priehradového nosníka	49
Tabuľka 11: Hodnoty normálových síl v diagonálach	49
Tabuľka 12: Prvky namáhané ťahom.....	54
Tabuľka 13: Prvky namáhané tlakom	54
Tabuľka 14: Zostavy zaťaženia od železničnej dopravy [9]	58
Tabuľka 15: Prvky namáhané ťahovou silou	59
Tabuľka 16: Prvky namáhané tlakovou silou.....	60
Tabuľka 17: Sumarizácia normalových síl.....	61
Tabuľka 18: Hodnoty síl	62

ZNAČENIE

A	plocha prierezu	[m ²]
I	moment zotrvačnosti prierezu	[mm ⁴]
L	dĺžka prútu, rozpätie mostu	[m]
L _φ	náhradná dĺžka	[m]
L _{cr}	vzperná dĺžka	[m]
M _{Ed}	návrhová hodnota ohybového momentu	[kNm]
M _{Rd}	návrhová únosnosť v ohybu	[kNm]
N _{Ed}	návrhová hodnota osovej sily	[kN]
N _{Rd}	návrhová hodnota únosnosti v ťahu	[kN]
Q _{lak}	charakteristická hodnota rozjzdovej sily	[kN]
Q _{lbk}	charakteristická hodnota brzdnjej sily	[kN]
Q _{sk}	charakteristická hodnota bočného nárazu	[kN]
Q _{vk}	charakteristická hodnota sily od LM1	[kN]
P	osamelá sila pri ručnom výpočte	[kN]
V _{Ed}	návrhová hodnota posúvajúcej sily	[kN]
V _{Rd}	návrhová únosnosť vo šmyku	[kN]
W	prierezový modul	[mm ³]
c	krivka vzpernej pevnosti	[-]
f _y	medza klzu ocele	[MPa]
f _u	medza pevnosti ocele	[MPa]
q _{vk}	charakteristická hodnota rovnomerného zaťaženia od LM1	[kN/m]
α	súčiniteľ imperfekcie	[-]
γ _i	dielči súčiniteľ materiálu	[-]
φ	dynamický súčiniteľ	[-]
Ø	pomocný súčiniteľ	[-]
χ	súčiniteľ vzpernosti	[-]
Ø	pomocný súčiniteľ	[-]
λ _y ⁻	pomerná štíhlosť	[-]
λ	kritická štíhlosť	[-]
ε	pomerné pretvorenie	[-]

Ďalšie značky sú definované v jednotlivých kapitolách práce.

1. ÚVOD

Cieľom práce je prepočet existujúceho mostu, ktorý premostňuje rieku Váh medzi obcou Sučany a mestom Turany na Slovensku. Ide o trojpoľový oceľový most pre železničnú dopravu. Most sa nachádza v priamom úseku trate a je súčasťou hlavnej trate Košice – Bohumín, pričom samotný objekt sa nachádza v 309,309 km. Samotný most sa skladá z priehradových nosníkov, kde krajné polia premostujú rozpätie 43,4 m a majú priamy horný pás. Medziľahlé pole zase premostňuje rozpätie 70,8 m a má použitý lomený horný pás, kde najskôr výškou plynule nadväzuje na krajné polia a následne sa výška zvyšuje až do stredu rozpätia.

Samotná bakalárska práca je rozdelená do niekoľkých častí. Najskôr sa venuje teoretickému rozboru priehradových železničných mostov, možnými poruchami, rekonštrukciami a ochranou. Následne sa pokračuje k predmetnému mostu tejto práce, pričom cieľom nie je prepočet všetkých troch polí ale len medziľahlého, resp. stredného poľa.

Kde sa rozoberá jeho konštrukcia, použité prvky pomocou dostupnej projektovej dokumentácie, jeho súčasný stav a vytvorenie dokumentácie tohto stavu. Ďalším krokom bolo určenie zaťaženia mostu podľa súčasnej ČSN EN 1991-2, ručný výpočet vnútorných síl pomocou zjednodušeného modelu a posúdenie hlavných prvkov konštrukcie mostu. Pre porovnanie so zjednodušenou analýzou a zachytenie lepšieho spolupôsobenia prvkov bol vytvorený 3D model pomocou softvéru SCIA Engineer. Neposledným krokom je súčasťou rozboru aj posúdenie niektorých detailov konštrukcie mostu.

Záver bakalárskej práce sa venuje možným spôsobom zachovania konštrukcie po ďalšie roky životnosti či už obecne alebo ako zhodnotenie na základe statickej analýzy tejto práce.

2. TEORETICKÝ ÚVOD DO PRIEHRADOVÝCH TRÁMOVÝCH MOSTOV S DOLNOU MOSTOVKOU

S oceľovými priehradovými mostmi sa v súčasnej dobe stretneme hlavne u starších železničných mostov s dolnou mostovkou, najmä kvôli veľkým rozpätiam a nedostatočnej stavebnej výške. Týmto mostom konkuruje vďaka väčšej estetickosti Langerový oblúkový most.

Vyvinuli sa z plnostenných mostov väčších rozpätí, kde väčšia výška hlavných nosníkov znamenala zvýšenie hmotnosti konštrukcie. Z tohto dôvodu sa stena nahradila priečkami a zvislicami, vďaka čomu sa docielilo zníženie hmotnosti a zmenšenie spotreby materiálu. [1]

Nakoľko sa skladajú z veľkého počtu pomerne malých častí, tak je ich výroba komplikovanejšia. Z ekonomického hľadiska je výhodnejšie navrhovať železničné mosty ako priehradové, kde sa rozpätie pohybuje približne od 40 m. Ekonomickú vhodnosť ovplyvňujú tiež podmienky a spôsob montáže. Väčšinou sa jednoduchšie montujú plnostenné konštrukcie. Nakoľko môžeme priehradové konštrukcie montovať po jednotlivých prútoch a tieto prúty spájať v styčníkoch, býva doprava a montáž v ťažkých podmienkach jednoduchšia.

Z estetického hľadiska sa priehradové trámové konštrukcie hodia do plochého, rovinného územia, kde môžu byť pri vhodnom začlenení ozdobou krajiny. Čím menej je priestoru a svetla, tým je priehradová konštrukcia menej vhodná, ako napríklad v mestskom prostredí.

Ak sa premostenie skladá z viacerých polí, možno hlavné nosníky navrhnúť ako:

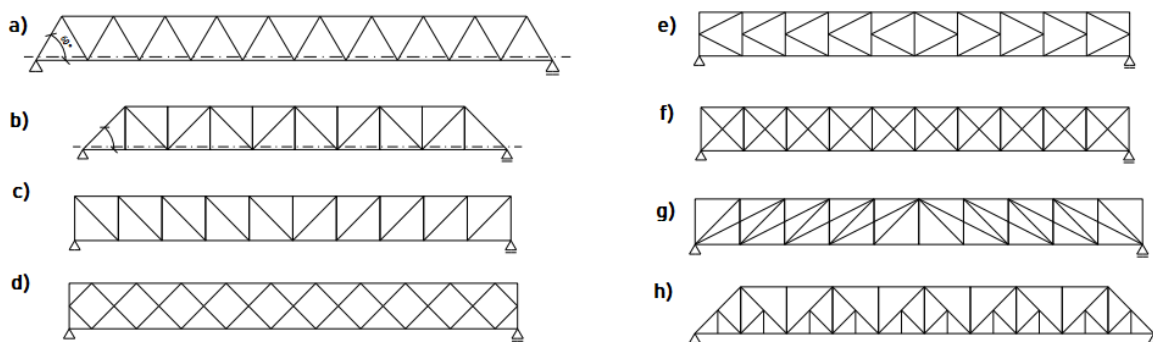
- radu prostých nosníkov,
- spojitý nosník bez kĺbov (statický neurčitý),
- spojitý nosník s kĺbmi (statický určitý).

Spojité nosníky bez kĺbov sú citlivejšie na nerovnomerné sadanie opôr a pilierov. Na zlé základové pomery je vhodnejšie vyberať medzi prvou a poslednou alternatívou. Spojitý nosník s kĺbmi sa jednoduchšie ľahšie montuje a pri vhodnom pomere polí je aj z hľadiska spotreby výhodnejší, než rada prostých nosníkov, avšak zhotovenie kĺbov a systém zavetrovania u kĺbových konštrukcií býva zložitejší. [3]

2.1. PRIESTOROVÉ A DISPOZIČNÉ USPORIADANIE

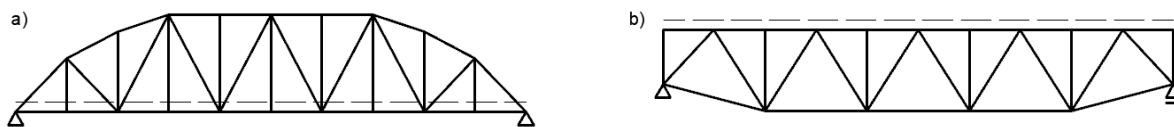
2.1.1. Voľba geometrie

Rozhodujúcimi parametrami je samotné určenie obrysu, konštrukčnej výšky a potrebný počet priehrad. Na rozdiel od plnostených sústav je údržba komplikovanejšia, najmä kvôli stretu veľkého počtu prútov v jednom styčniku. Preto návrh a optimálne riešenie tvaru sa počas rokov menilo. Od hustých mrežovín, ktoré nahrádzali plnú stenu až po jednoduchšie trojuholníkové sústavy zvislicové (kde zvislice sú navrhnuté ako podružné prvky, ktoré skracujú vzperné dĺžky pásu) alebo neskôr bezvislicové sústavy, ktoré sú viac vzhľadnejšie, ale vyžadujú ťažšie zhotovenie konštrukcie mostovky (väčšie rozpätie pozdĺžnikov, väčšie vzperné dĺžky, návrh strmších diagonál). [2]



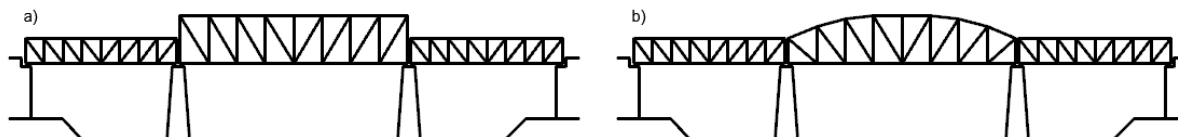
Obrázok 1: Rôzne typy priehradových sústav: a) bezzvislicová; b) zvislicová; c) jednosmerná; d) rombická; e) polpriečková; f) zložená; g) násobná; h) sústava pre veľké rozpätia [5]

Najjednoduchšou voľbou, z estetického hľadiska na úkor spotreby ocele, sú priamopásové priehradové konštrukcie. Pokiaľ nám rozhoduje rozpätie, resp. je potreba premostenia väčšieho rozpätia, tak je táto voľba neekonomická, a preto sa tvar prispôbuje priebehu ohybových momentov a posúvajúcich síl. Z pravidla vytvárame horný lomený pás a vzniká tzv. krivopásová priehradová konštrukcia, ktorá vylepšuje stabilitu sústavy proti preklopeniu. [3]



Obrázok 2: Krivopásové priehradové nosníky a) most s dolnou mostovkou; b) most s hornou mostovkou

Ďalším dôvodom pre voľbu krivopásových nosníkov môže byť estetické hľadisko. Kde pri premostených viacerých polí pomocou kombinácie priamopásových a krivopásových dosiahneme plynulosť obrysovej krivky - jednotnejší obrys. [3]



Obrázok 3: Vplyv estetického hľadiska na tvar priehradových hlavných nosníkov mostu o niekoľkých poliach
a) premostenie s nevhodným popisom; b) vhodné riešenie

Pri starších typoch priehradových mostov sa stretneme s parabolickým horným pásom a realizovanou prvkovou mostovkou. Samotné prúty sa navrhovali s otvorenými prierezmi z rôznych profilov, najmä uholníkov, ktoré boli navzájom spojené nitmi. [1]

2.1.2. Výška nosníka

Pri predpoklade zabezpečenia, čo najmensej výšky možno stanoviť optimálnu výšku, ktorá závisí od tvaru konštrukcie, voľbe uzavretého alebo otvoreného mostu, na zaťažení, počte priehrad, na materiály a aj priereze prvkov. V súčasnej dobe sa voľba výšky opiera o dlhoročné skúsenosti a pohybuje sa v rozmedziach ako je uvedené v tab. č. 1. [3]

Tabuľka 1: Hospodárna výška priehradových nosníkov v strede rozpätia [3]

Konštrukcie	Priamopásové	Krivopásové
Prosté nosníky	$\frac{1}{7} - \frac{1}{10}L$	$\frac{1}{5,5} - \frac{1}{8}L$
Spojité nosníky	$\frac{1}{9} - \frac{1}{15}L$	$\frac{1}{12} - \frac{1}{18}L$

Pričom väčšia výška priaznivo ovplyvňuje priehyb a osovú silu v pásach, zároveň umožňuje vytvoriť uzavretý prierez mostu (použitie horného zavetrenie mostu, pričom výška je určená prejazdným profilom). Zároveň možno povedať, že pri rastúcej výške dochádza aj k negatívnemu ovplyvňovaniu, ako napríklad dochádza ku zväčšeniu dĺžky priečnikov, čo následne vedie k zväčšeniu štíhlosti diagonál, zvislíc aj pásov. [1]

Za optimálny sklon diagonál pri bezzvislicovej sústave sa považuje uhol 60°, pri zvislicových sústavách sa pohybuje v rozsahu 45° až 50° od vodorovnej roviny. [1]

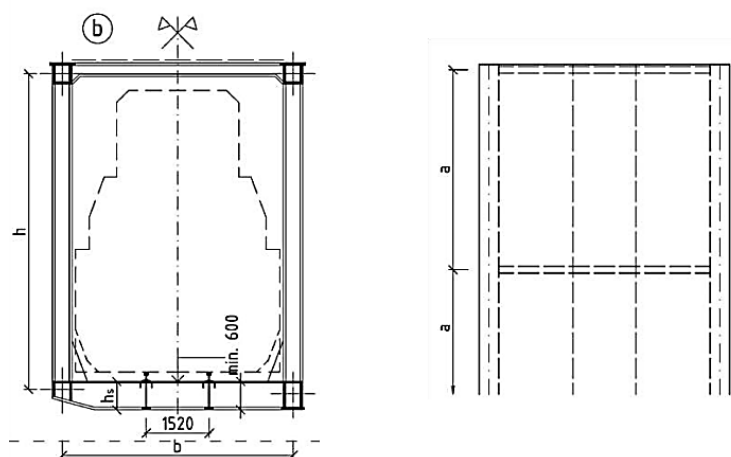
2.1.3. Voľba mostovky

Mostovka je jednou z najviac namáhaných nosných konštrukcií, ktorá prenáša účinky zaťaženia od železničného zvršku do hlavnej nosnej konštrukcie.

Podľa polohy poznáme: hornú, medziľahlú a dolnú mostovku.

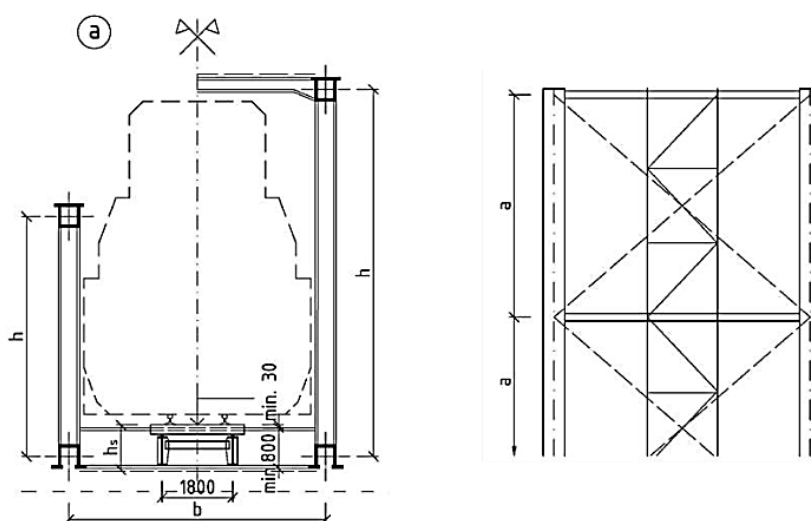
Podľa konštrukcie mostovky:

- **Priame uloženie koľajníc** - ide o uloženie koľajníc priamo na pozdĺžniky, a teda výhodou je nízka hmotnosť a potreba najmenej stavebnej výšky. Tieto výhody sú ale na úkor nepohodlnej jazdy (tvrdá a hlučná) a veľkej možnosti vzniku únavy. [10]



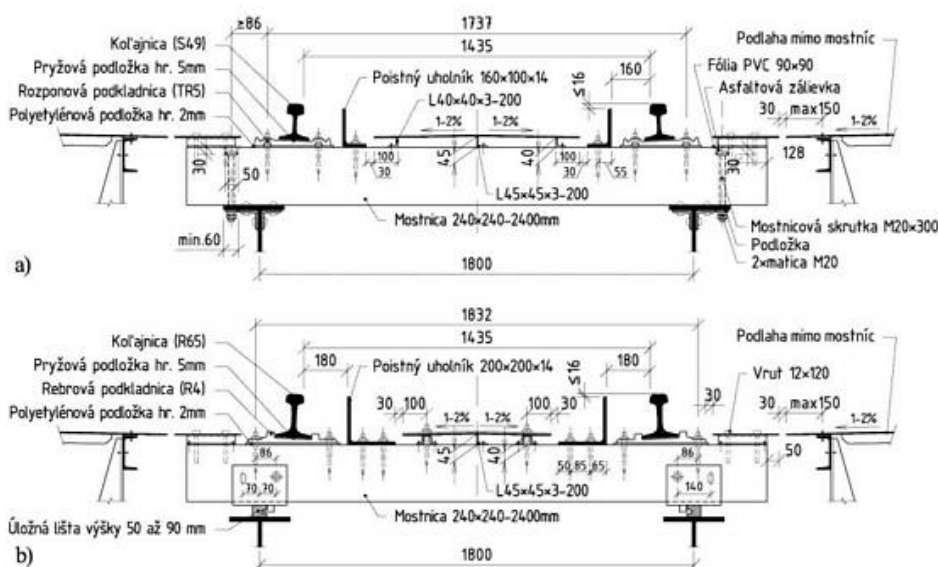
Obrázok 4: Rez a pôdorys mostovky s priamym uložením koľajníc [1]

- **Prvková mostovka** - najčastejšie používaná mostovka s menšou hmotnosťou než mostovka s priebežným koľajovým lôžkom. Ide o mostovku, kde koľajnice sú uložené na mostniciach. Nevýhodou je hlavne obmedzená rýchlosť, tvrdá a hlučná jazda a zároveň náročnejšia údržba. [10]



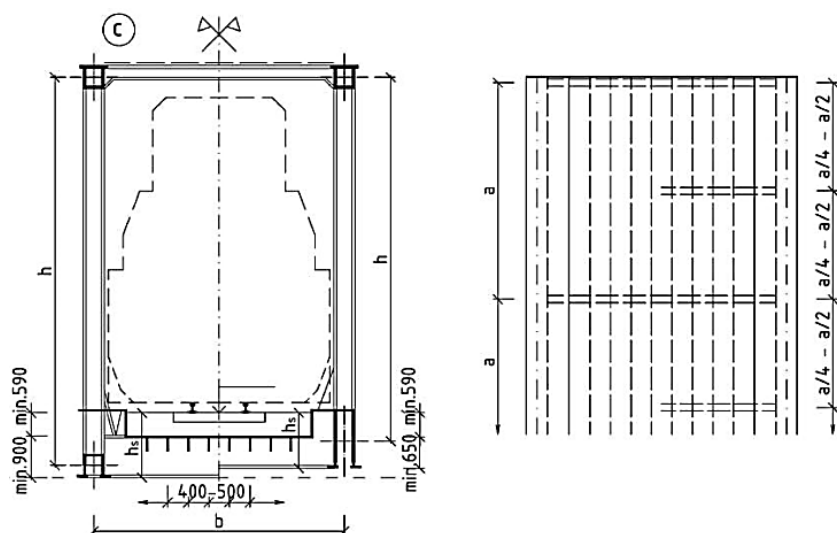
Obrázok 5: Rez a pôdorys prvkovej mostovky [1]

Uloženie mostníc na pozdĺžniky môže byť plošné alebo centrické. Plošné uloženie mostníc (obr. 6a) nájdeme najmä pri nitovaných mostoch, kde boli priamo ukladané na horné pásnice oceľových nosníkov a boli prichytené pomocou mostnicovej skrutky. Preto bývali horné pásnice rozšírené na vonkajšiu stranu. Nevýhodou takéhoto uloženia bolo cyklické namáhanie horných pásnic priečnym ohybovým momentom, čo sa prejavovalo vznikom a šírením únavových trhlin, ktoré viedli až k úplnému lokálnemu vylomeniu časti hornej pásnice. Pri centrickom uložení mostníc sa ukladali pomocou oceľových sediel, opatrených na jednej strane mostnice vodiacim hákom a na druhej strane zarážkou, na úložné lišty, ktoré boli centricky privarené na horné pásnice nosníkov a opatrené vodiacou drážkou z vnútornej strany. Tým sa odstránila nevýhoda lokálneho namáhania horných pásnic. [1]



Obrázok 6: Uloženie mostníc a) plošné; b) centrické [1]

- **Priebežné koľajové lôžko** - ako jediný typ mostovky je vhodný pre trate s vyššou resp. vysokou rýchlosťou. Oproti ostatným typom poskytuje tichšiu a plynulejšiu jazdu. Zároveň priaznivo tlmí dynamické účinky, ktoré vznikajú na nosnej konštrukcii, a tým aj znižuje nebezpečenstvo vzniku únavy a krehkého lomu. Umožňuje bezproblémové usporiadanie výhybiek a oblúkov na moste, zaisťuje jednoduchú smerovú a výškovú rektifikáciu polohy koľaje. Medzi jej nevýhody patrí hlavne vyššia hmotnosť a potreba vyššej stavebnej výšky. [10]



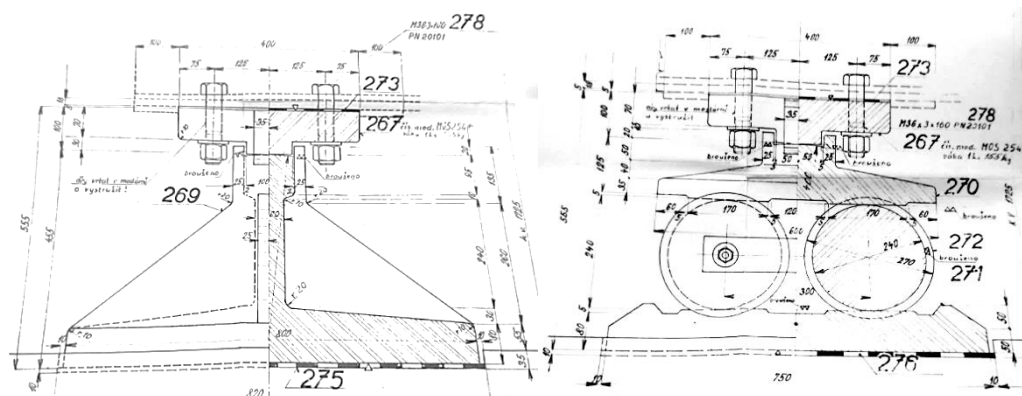
Obrázok 7: Rez a pôdorys mostovky s priebežným koľajovým lôžkom [1]

2.1.4. Ložiská

Ložiská sú súčasťou nosnej konštrukcie mostu a zaisťujú teoretické správne uloženie mostnej konštrukcie (umožňujú potrebné posuny a pootočená) a roznesenie podporových tlakov na dostatočne veľkú plochu úložného prahu. [10]

Na skúmanej konštrukcii mostu sú použité vahadloové oceľové ložiská, z tohto dôvodu si tento druh ložísk teoreticky rozoberieme.

Pri vahadloovom ložisku dochádza k sústredenému prenosu podporových síl z konštrukcie do podpory medzi dvomi časťami ložiska. Horná časť ložiska (vahadlo) je pevne pripojená ku konštrukcii. Naopak, spodná časť u pevných ložísk (úložná stolica) alebo pri pohyblivých, prípadne pevných (úložná doska) je pevne pripojená k podpore. [6]



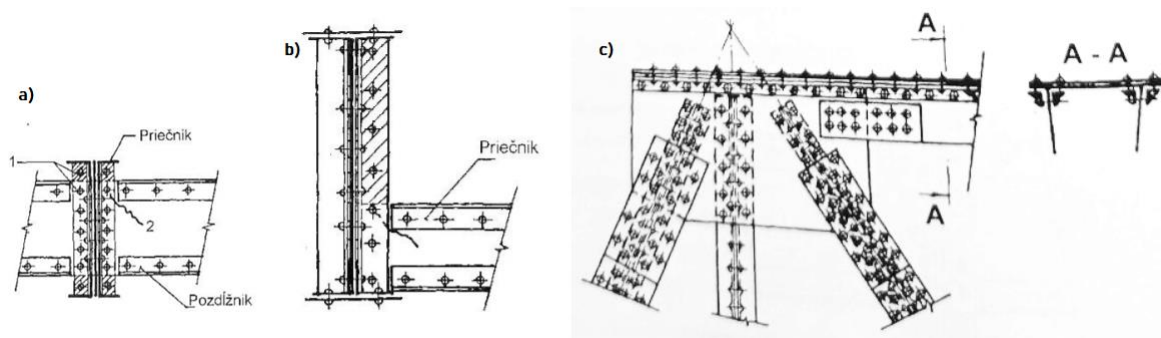
Obrázok 8: Navrhnuté ložiska podľa projektovej dokumentácie predmetného mostu, vľavo pevné ložisko a vpravo pohyblivé

2.1.5. Vybrané spoje a detaily ocelových mostov

Životnosť konštrukcie je ovplyvnená životnosťou, resp. dokonalosťou detailov. Veľká pozornosť musí byť venovaná ich návrhu a neskôr pri prevádzke, je potrebné dbať na dostatočnú údržbu. Vzhľadom na niektoré zastaranejšie detaily alebo nevhodnú koncepciu je údržba komplikovaná.

Častou chybou sú veľké rozstupové vzdialenosti spojovacích prvkov, kde napríklad pri nitovanom spoji pásnic alebo pásnic s uholníkom môže dôjsť k odchýleniu plechov a následnej korózii. Kritickým detailom je aj prípoj pozdĺžnika na priečnik (bez realizácie prídavnej pásnice, ktorá zabezpečuje spojitosť pozdĺžnikov pri prechode cez priečnik), kde sú najvyššie nity namáhané šmykom od reakcie pozdĺžnika, ale zároveň aj ťahom na hlavu vyvolaným momentom votknutia. Časom dôjde k osovému predĺženiu nitov a z nitového otvoru sa môže začať šíriť trhlina.

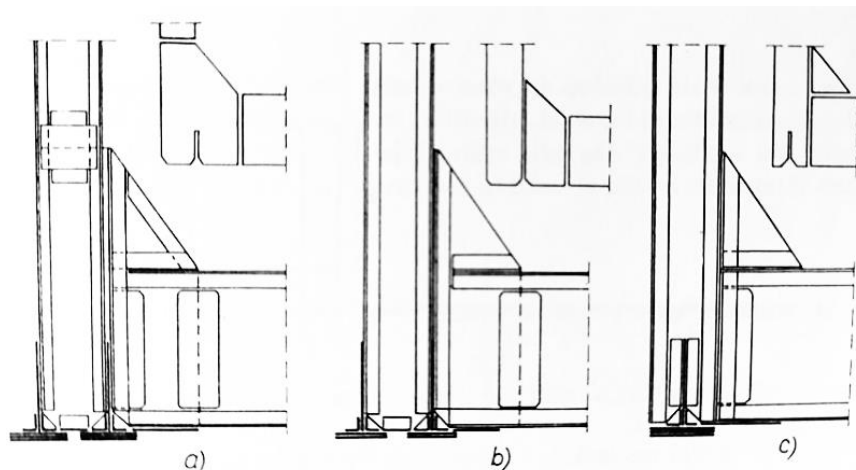
Ďalšou chybou býva prípoj priečnika na hlavný nosník, kde sa spoj realizoval len cez stenu priečnika a od prechodu náprav vznikalo mimoriadne namáhanie tohto spoja, čo mohlo zapríčiniť ovalizovanie nitových otvorov a následnému uvoľneniu priečniku. Prípadne pri starých mostoch je možné stretnúť sa s excentrickým pripojením prútov, čo má za následok vzniknutie prídavných momentov, ktoré vyvolávajú premáhanie voľných okrajov stien pásového prútu a neskôr aj únavové trhliny v styčníku. [4]



Obrázok 9: Nevhodná koncepcia: a) nevhodný spoj pozdĺžnika s priečnikom; b) nevhodný spoj priečnika s hl. nosníkom; c) excentrické pripojenie prútov

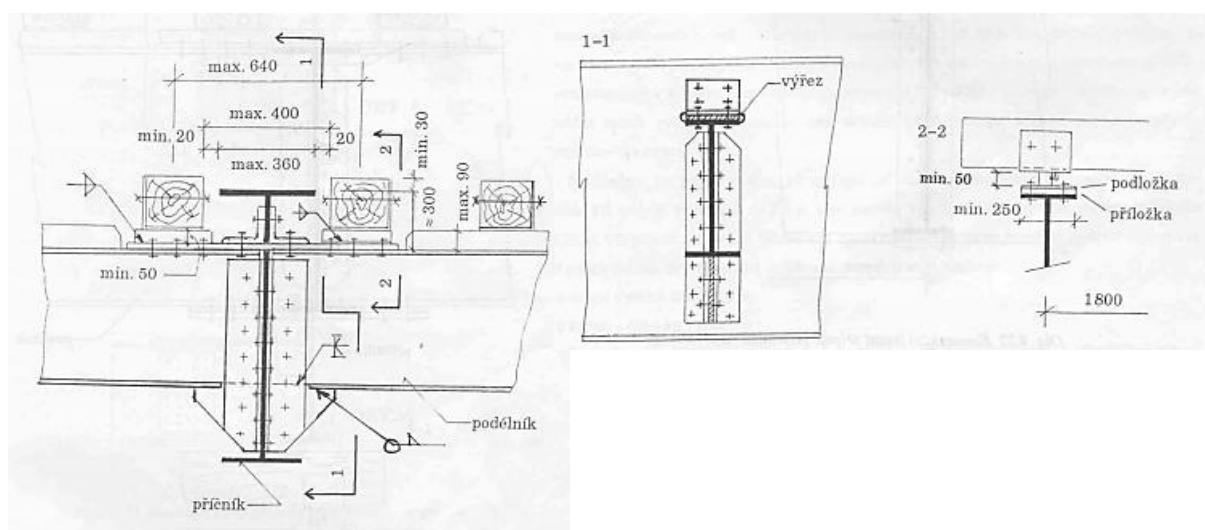
Dôležitým spojom je prípoj priečniku k hlavným nosníkom, tak aby sa vytvoril tuhý rámový spoj. Je to nutné u dvojstenných nosníkov, kde sa zaistí rovnomerné zaťaženie pásov. Taktiež je to potrebné u otvorených mostov, kde priečnik so zvislicami (prípadne diagonálami pri bezzvislicovej sústave) musí vytvoriť tuhý polorám zabezpečujúci horný pás proti vybočeniu. [2]

Pri nitovaných konštrukciách je vyhotovenie takýchto rámových rohov vždy zložité a vyžaduje sa viac materiálu, najmä ak sa chceme vyhnúť namáhaniu hlavy nitov. Takéto tuhé spojenie možno vytvoriť celistvým rohovým plechom stykovaným so stenou priečnika a zvislice (obr. 10a). Tento plech má vždy výrezy, aby ho bolo možné zasunúť medzi steny pásu. Menej dokonalejším spojom je stykovanie plechu len so stenou priečnika, takže sa rohový moment prenáša iba nitmi namáhanými na hlavu (obr. 10b). Najmenej používaným pripojením bolo prinitovanie trojuholníkových výstuh k priečniku a zvislici. [2]



Obrázok 10: Pripojenie priečnikov k zvislici [2]

Na predmetnom moste, ktorý bude riešený podrobnejšie v neskorších kapitolách, je použitá mostovka s mostnicami a zapustenými pozdĺžnikmi (smerujú do stien priečnikov). V tomto prípade sa pozdĺžniky zapúšťajú tak hlboko, aby mostnica vyčnievala len 30 mm nad pásnicu priečnika, čo je minimálna medzera medzi pätou koľajnice a hornou pásnicou priečniku z dôvodu údržby. Spojitosť hornej pásnice pozdĺžnika je zaistená stykujúcou príložkou, ktorá prechádza výrezom v stene priečniku (viď. obr. č.11). [10]



Obrázok 11: Konštrukčné riešenie prípoja pozdĺžnika na priečník [10]

3. PORUCHY, ÚDRŽBA A REKONŠTRUKCIA ŽELEZNIČNÝCH OCEĽOVÝCH MOSTOV [4] [5]

Po skončení druhej svetovej vojny, pri ústupe nemeckých vojsk z nášho územia, došlo k zničeniu veľkého množstva železničných tratí, najmä železničných mostov. Z tohto dôvodu sa na mieste zničených konštrukcií stavali nové konštrukcie mostov.

Pre zachovanie týchto konštrukcií, samotnej prevádzke na nich a zlepšenie technických podmienok, je dôležité dbať na ich správnu a dôkladnú správu, údržbu a prípadnú rekonštrukciu. Samotná prevencia vzniku porúch a monitorovanie v čo najkratšom čase, po ich vzniku, je vždy jednoduchšia a lacnejšia ako odstraňovanie ich následkov. Preto je potrebné poriadne sa oboznámiť s projektami skúmaných mostov, ich zaťažiteľnosti (veľa mostných objektov je vybudovaných na základe iných dopravných a zaťažovacích podmienkach než sú v súčasnosti požadované), technickom stave, prípadne so zmenami, ktoré sa vykonali oproti pôvodnému stavu.

3.1. DRUHY PORÚCH

Poruchy delíme podľa rôznych kritérií. Nedokonalosti mostného objektu od vzniku až po ukončenie životnosti môžeme rozdeliť na dve základne skupiny **kazy a poruchy**.

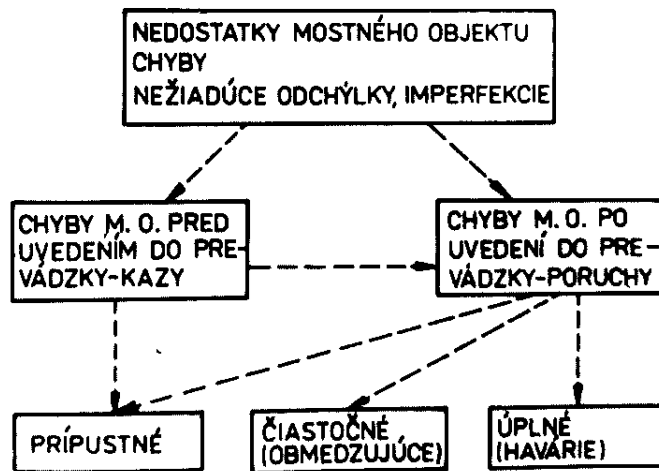
Kazy definujú rozdiel medzi vlastnosťami splňujúce všetky vstupné požiadavky (rozdiel medzi reálnym a predpokladaným stavom). Vznikajú pri návrhu a samotnej výstavbe objektu. Môžeme ich rozdeliť na „viditeľné“, ktoré vznikajú pri projekcii a pri dostatočnej kontrole tejto činnosti, skúškami počas výstavby a ešte pred uvedením mostu do prevádzky, kde sa im dá predchádzať. Druhú skupinu tvoria „neviditeľné“ kazy, ktoré sa nepodarilo zistiť a sú z časti príčinami porúch.

Poruchy sú nedokonalosti, ktoré vznikajú už vo fáze od uvedenia do prevádzky až po ukončenie životnosti objektu. Ich pôvodcami sú „neviditeľné“ kazy, prevádzky na moste, respektíve pod ním, a pôsobenie okolitého prostredia.

Poznáme poruchy:

- **prípustne** – dajú sa odstrániť pri bežnej údržbe a neznižujú únosnosť a použitie konštrukcie
- **čiastočne alebo obmedzujúce** – treba prijať určité opatrenia (zníženie rýchlosti, sledovať vývoj poruchy,...), pretože dochádza k zníženiu únosnosti a obmedzenie použiteľnosti konštrukcie

- **úplne** – dochádza k presiahnutiu medzného stavu únosnosti alebo použiteľnosti



Obrázok 12: Schéma rozdelenia chýb nedokonalosti na mostnom objekte [5]

3.2. PRÍČINY A NÁSLEDKY NAJČASTEJŠÍCH PORÚCH MOSTOV [5]

Zo všeobecného hľadiska existuje veľa rôznych vplyvov a kombinácií, ktoré môžu za vznik porúch konštrukcie, a to napríklad:

- **Korózia kovových častí** – za dobu existencie konštrukcie došlo k zvýšeniu agresivity prostredia, nedokonalý prístup pre údržbu detailov a nedostatočné vytvorenie protikoróznej ochrany.
- **Nevhodné odvodnenia konštrukcie** – nedostatočný rýchly odvod vody, zlá voľba spádov.
- **Správny návrhový model aj realizácia, ale voči predpokladom došlo k zmene účinkov** - preťaženie zaťažením, zmena zaťaženia.
- **Správny návrhový model, chyby alebo neočakávané zmeny pri realizácii** – pri realizácii zhotoviteľ vykonal neočakávané zmeny oproti návrhu v projekte.
- **Nevhodná koncepcia a detaily zhoršujúce pôsobenie mostov** - zastarané konštrukčné detaily, veľké rozostúpi spojovacích prvkov.
- **Mechanické porušenia** – vznikajú prevažne pri prevádzke na moste, najmä nárazmi, predstavujú pretrhnutie elementov alebo deformovanie konštrukcií. Deformácia pôvodných prvkov vyvoláva prídavné napätie (pri tlačných prútoch redukcia vzpernej pevnosti, ohnuté a tlačené pásy ohýbaného nosníka sú náchylnejšie na klopenie). Zároveň

pri štíhlych prútoch môže dochádzať ku kmitaniu, pri nedostatočnom namáhaní ťahom, čo môže viesť ku vzniku trhlín a uvoľneniu prípojev.

- **Únavové porušenia** – prejavujúce sa trhlinami, môžu vznikať pri relatívne nízkych napätiach. Ide o proces kumulácie poškodení, kde je význačná hlavne v miestach maximálnej koncentrácie napätí (nitované mosty v miestach nitových otvorov v prípojoch a stykoch, pri zváraných konštrukciách konce zvarov a ich defekty). Najväčšie únavové porušenia sa objavujú v diagonálach priehradových hlavných nosníkov okolo stredu rozpätia, pretože od občasného zaťaženia sú tlačené aj ťahané. Trhliny vychádzajú z otvoru prvého (prípadne druhého, tretieho) nitového radu, pretože v okrajovej oblasti sú nity najviac zaťažené. Dĺžka týchto trhlín sa môže pohybovať od niekoľkých milimetrov po centimetre. V stene pozdĺžnikov vychádza šikmá únavová trhlina od vrchného nitového prípoja k priečniku, z dôvodu veľkých ťahových napätí pri vrchných nitoch.

Tabuľka 2: Prehľad najčastejších porúch na oceľových mostoch [5]

Porucha	Príčina	Následok
Trhlina	- únava materiálu - krehký lom - zdvojenie materiálu	- sledovanie zníženia životnosti alebo zaťažiteľnosti - nepoužiteľnosť, havária - obmedzená zaťažiteľnosť
Trvalá deformácia	- náraz (mechanické poškodenie) - splatzizovanie materiálu	- znížená únosnosť - zmena únosnosti, nepoužiteľnosť
Voľné nity, resp. skrutky	- nevhodné použitie - otláčenie, nedokonalá realizácia	- znížená únosnosť - zníženie únosnosti, nebezpečenstvo vzniku únavovej trhliny
Korózia	- nedostatočná antikorózna ochrana - silné agresívne prostredie	- znížená únosnosť - znížená únosnosť

3.3. REKONŠTRUKCIA [4]

Oceľové mosty sú z hľadiska rekonštrukcií veľmi výhodne a samotný rozsah rekonštrukcie závisí od požadovanej životnosti objektu, pričom životnosť takto zrekonštruovaného objektu môže byť trvalá, obmedzená alebo krátkodobá.

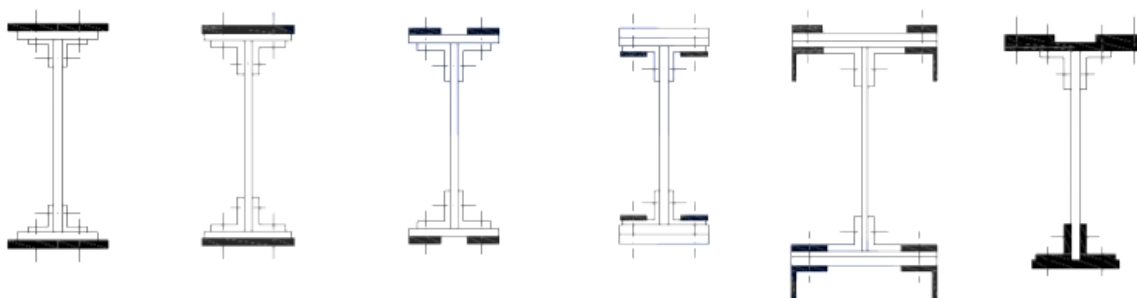
- **Trvalá** (vyhovuje tým istým požiadavkám, ktoré sú kladené na nové konštrukcie).
- **Obmedzená** (životnosť na určitú dobu, po uplynutí má byť objekt vyradený z prevádzky).
- **Krátkodobá** (rekonštrukcia vyvolaná mimoriadnymi, prevádzkovými alebo inými dôvodmi).

3.4. ZOSILŇOVANIE [4] [5]

Druh rekonštrukcie, pri ktorom dochádza ku zväčšovaniu prierezu prvky spolu s jeho prierezovými charakteristikami. K zosilňovaniu sa pristupuje najmä vtedy, ak poklesla únosnosť a použiteľnosť konštrukcie, trvalé alebo krátkodobé zaťaženie je vyššie než navrhnutá, potreba zvýšenia únosnosti bez potreby výmeny časti mostnej konštrukcie alebo prvkov.

Pripojenie zosilňujúcej časti k pôvodnému prierezu sa robí buď priamo na konštrukcií alebo mimo konštrukcie. Nové prvky môžu byť pripojené zvarom, nitmi alebo vysokopevnostnými skrutkami. Pri zvare je zachovaná prierezová plocha bez oslabenia, naopak pri nitových alebo vysokopevnostných skrutkách treba odstrániť pôvodný spojovací prvok, čím dochádza k oslabeniu. Zároveň oproti zvaru je treba pripraviť samotné otvory. Pre nitované spoje treba pôvodný otvor pripraviť pre súčasne priemery nitov, ale aspoň použiť nity pôvodných veľkosti s väčšou dĺžkou surových nitov, aby sa dôkladne vyplnila deformovaná diera. Skrutky sa používajú väčšinou v prípadoch nákladnej a náročnej príprave staveniska alebo neprístupnosťou prvkov pre nitovanie.

Je nutné mať zvýšenú pozornosť pri určovaní únosnosti, resp. presnejšiemu určeniu spolupôsobenia starých a nových častí konštrukcie bežne spojených pri rozdielnych spôsoboch namáhania, úpravu dotykových plôch medzi týmito prvkami a ich ochranu proti korózii.



Obrázok 13: Zosilnenie zložených prierezov [11]

- **Ťahaného prútu** – pri výpočte sa požaduje neprekročenie návrhovej pevnosti v zosilňovanom (pôvodnom) priereze. Účinky zaťaženia pri zosilnení prisúdime pôvodnému prierezu a zaťaženie, ktoré pôsobí po zosilnení už prenáša celý zosilnený prierez. Tieto požiadavky vyjadruje podmienka:

$$\frac{N_g}{A_1} + \frac{N_p}{A_1 + A_2} \leq R_d \quad (1)$$

kde	A_1	plocha zosilňovanej časti prierezu
	A_2	celková plocha po zosilnení časti prierezu
	N_g	návrhová sila, pri ktorej sa zosilňuje
	N_p	návrhová sila, prirážajúca po zosilnení
	R_d	návrhová pevnosť zosilňovanej časti

- **Tlačeného prútu** - zosilnenie pridaním materiálu približne rovnakej kvality ako je zhotovený pôvodný prvok. Dôležitou úlohou je umiestnenie prídavného materiálu. Okrem zmeny plochy sa mení aj tuhosť prútu, čo ovplyvňuje aj veľkosť súčiniteľa vzpernosti. Pri výpočte treba dodržať podmienku:

$$\frac{N_g}{A_1} + \frac{N_p}{A_1 + A_2} \leq \chi_z * R_d \quad (2)$$

kde χ_z je súčiniteľ vzpernosti už zosilneného prútu.

- **Ohýbaného nosníku** – zosilnenie pridaním pásnic, pričom sa uvažuje symetrický prierez. Pri návrhu treba kontrolovať dve miesta, kde by mohlo výsledne napätie dosiahnuť hodnotu pevnosti. Pričom najčastejšie napätie krajných vlákien pôvodného prierezu po zosilnení musí spĺňať podmienku:

$$\frac{M_g}{W_1} + \frac{M_p * v_1}{W_z + v_2} \leq R_d \quad (3)$$

kde	M_g	moment od zaťaženia pri zosilňovaní
	M_p	moment po zosilnení
	v_1	pôvodného prierezu
	v_2	výška zosilneného prierezu
	R_d	návrhová pevnosť zosilnenej časti.

- **Spojov** – si vyžaduje zosilnený prvok alebo aj málo únosný spoj v pôvodnej konštrukcii. Trecie spoje nie sú vhodné na zosilňovanie, kvôli náročnej úprave stykovaných plôch. Pri zváraných spojoch sú pôvodné zvary roztavené ohrevom a dočasne strácajú únosnosť,

preto je vhodné prekryť pôvodné zvary, resp. zvarmi cez strieškovito osadené pásiky. Nitované spoje sú najvhodnejšie na zosilnenie buď väčším počtom nitom, zväčšením priemeru starých nitov alebo kombináciou.

3.5. OCHRANA [4]

Najčastejšie sa ako ochranný systém na oceľové mosty volia povrchové povlaky, ktoré ju chránia pred agresívnym prostredím alebo aj pre zvýšenie estetického dojmu. Životnosť týchto povrchových úprav je z väčšej časti ovplyvnená spôsobom zhotovenia, sušenia, prepojenia náteru so základným materiálom, hrúbky náteru a aj prípravou povrchu, resp. očistením povrchu pred nanášaním. Oproti ručne očistenému povrchu kefami je možné životnosť zvýšiť očistením plameňom, odhrdzovačmi, morením alebo najviac otrieskaním.

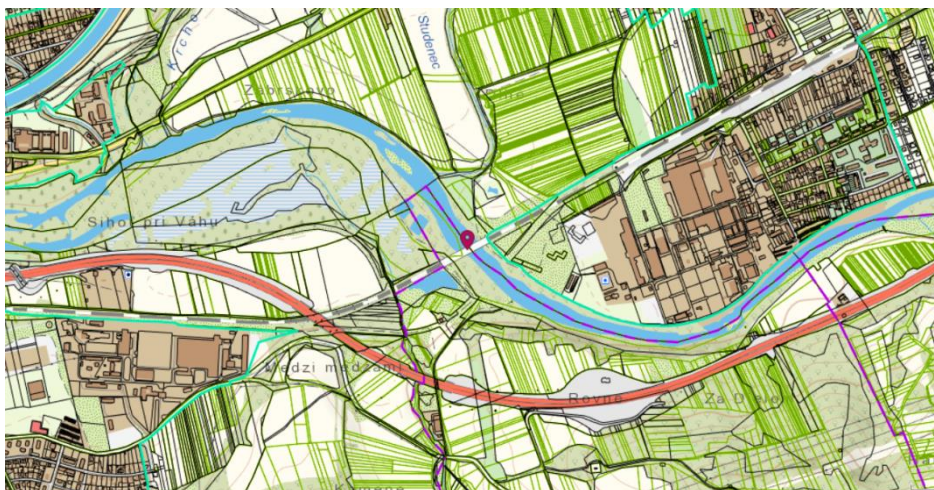
Samotné systémy ochrany môžeme rozdeliť na:

- **nechránené** – v prípade nízkej koróznej agresivite prostredia (nereálne pri mostoch),
- **patinovanie** – použitie nízkoalokovanej ocele so zvýšenou odolnosťou proti korózii. V prípade, že nerozhoduje vzhľad konštrukcie a je dodržaná podmienka vzniku ochrannej vrstvy hrdze (patiny), ktorá spomalí koróziu.
- **nátery** – najrozšírenejšia ochrana proti atmosférickým vplyvom,
- **žiarové pozinkovanie** – predstavuje ochranu s dlhou životnosťou, tento spôsob je hlavne pre dielenské podmienky. Nakoľko rozmery prvkov, ktoré sa vkladajú so roztaveného zinkového kúpeľa sú obmedzené rozmermi pozinkovacích vaní.
- **žiarový nástrek hliníkom alebo zinkom** – pre mosty, ktoré sú dlhodobo v agresívnom prostredí. Tieto povlaky nanášane metalizáciou sa vytvárajú nastriekaním čiastočne alebo úplne roztaveného kovu na základný materiál metalizačnou pištoľou.
- **kombinované povlaky** – veľmi nákladné, ide o kombináciu vysokej životnosti kovových povlakov v agresívnych podmienkach s farebným náterovým riešením.
- **anorganické povlaky** – najčastejšie z keramických smaltov, kde ide o tenký dvojvrstvový povlak. Prvá vrstva zaručuje súdržnosť a druhá požadované vlastnosti, kyselinovzdornosť.

4. PREHLIADKA A ZAMERANIE MOSTU

4.1. HISTÓRIA MOSTU

Predmetný most tejto práce sa nachádza medzi mestom Turany a obcou Sučany na trase Košice – Bohumín na 309,309 kilometri. Tento most premost'uje rieku Váh.



Obrázok 14: Geografická poloha mostu

Prvý železničný most na tomto mieste bol postavený už okolo roku 1871, nanešťastie pri ústupe nemeckého vojska bol zničený v roku 1945.



Obrázok 15: Zničený most z roku 1945



Obrázok 16: Súčasný stav mostu

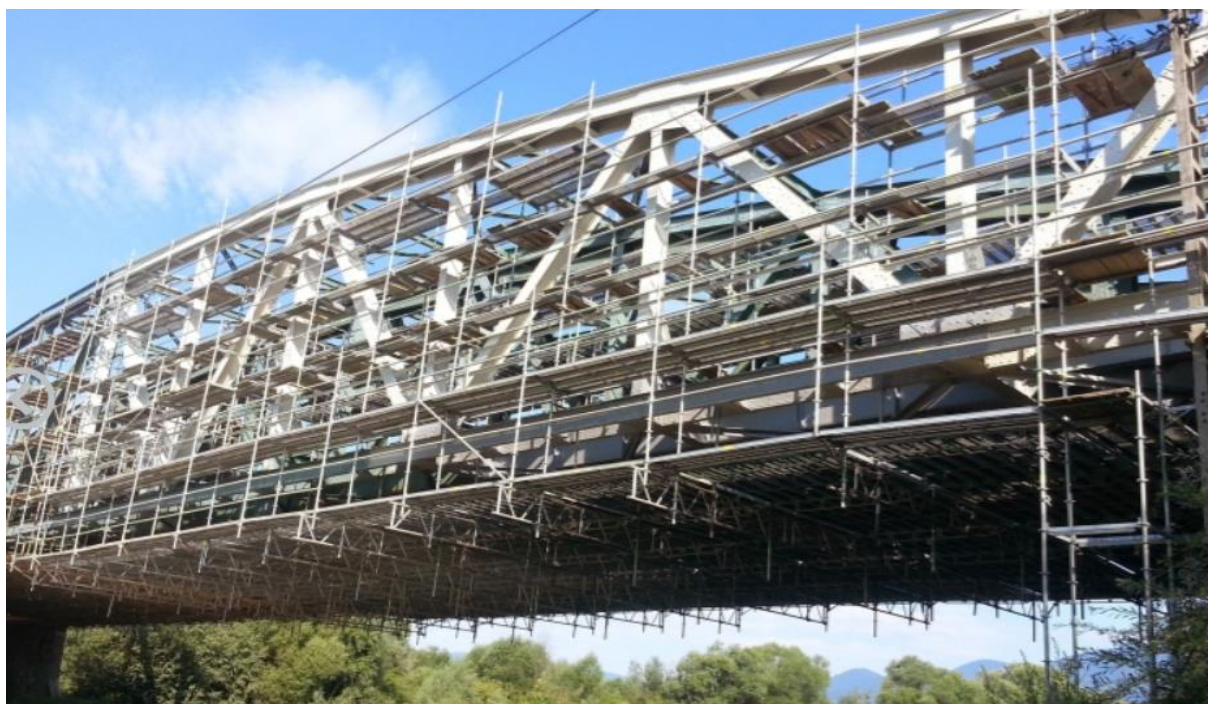
Je navrhnutý v priamom úseku trate ako trojpoľový priehradový most, pričom každé pole pôsobí samostatne. Prvé a posledné pole premost'uje rozpätie 43,4 metrov a je použitý otvorený profil mostu s priamopásovými hlavnými nosníkmi. Predmetom skúmania je stredné pole s poloparabolickými hlavnými nosníkmi a čiastočne uzavretým profilom, ktoré

premost'uje rozpätie 70,8 metrov. Zároveň ide o nitovaný most, kde hlavná nosná konštrukcia krajných polí je z ocele C37 a pre stredné pole je vyhotovená z ocele C 52.

V roku 2014 bola konštrukcia mostného objektu opieskovaná a bol obnovený jej náter.



Obrázok 17: Obnovenie povrchu konštrukcie [7]

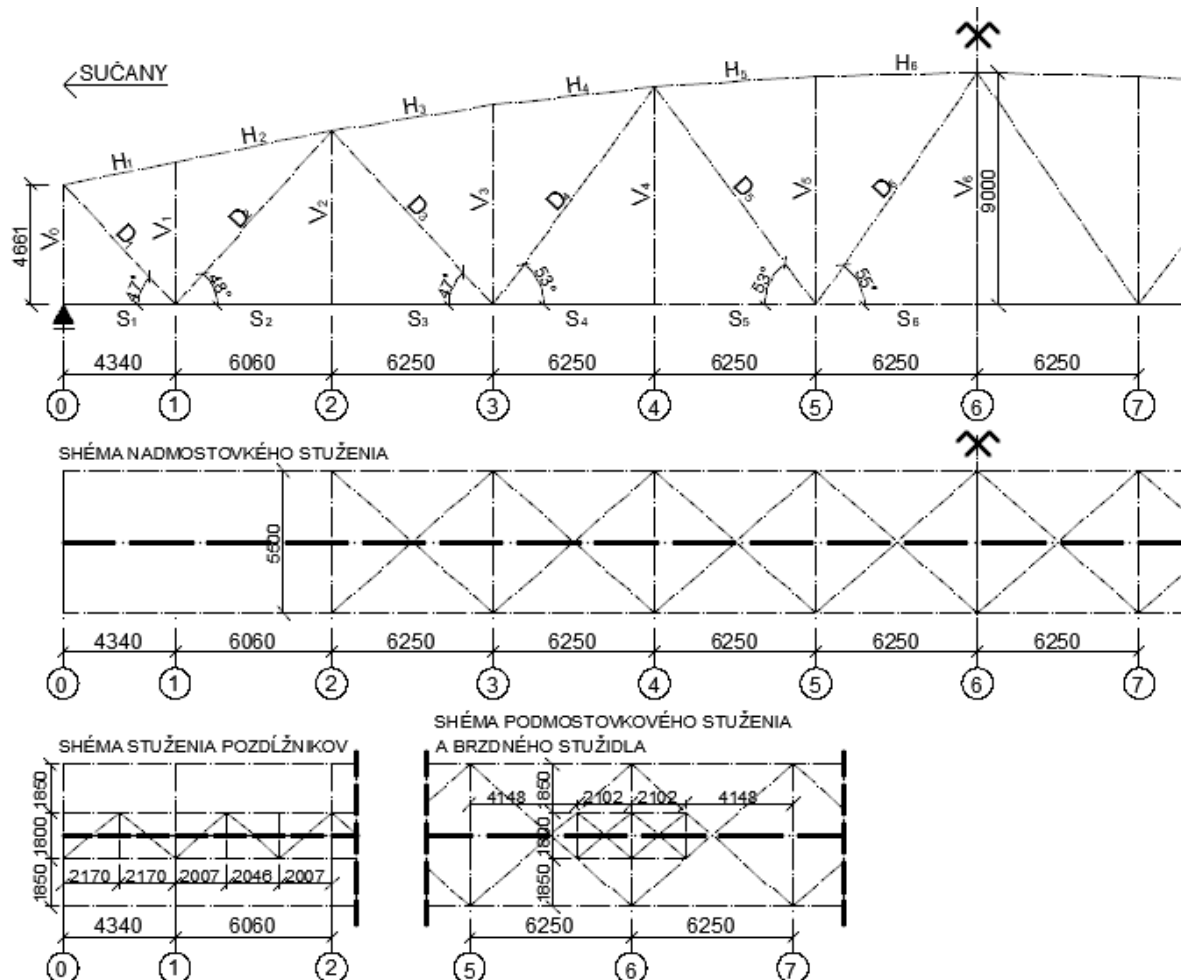


Obrázok 18: Pohľad zo spodu [7]

4.2. KONŠTRUKCIA A GEOMETRIA MOSTU

Hlavná nosná konštrukcia skúmaného poľa je z ocele C 52, ktorá podľa TP 42 [11] má medz klzu 360 MPa. Profily sú spojené nitmi z ocele C 44. Jeho teoretické rozpätie (vzdialenosť medzi osami ložísk) je 70,8 m ale jeho skutočná dĺžka spolu aj s presahmi je 71,55 m. Výška prvej zvislice bola prispôbená výške krajných polí, čo predstavuje výšku 4,661 m. Maximálna výška 9,0 m je dosiahnutá v strede rozpätia.

Prierezy jednotlivých prvkov použitých na konštrukcii boli získané na základe projektovej dokumentácie vypožičanej od ŽSR Okresné riaditeľstvo Žilina.

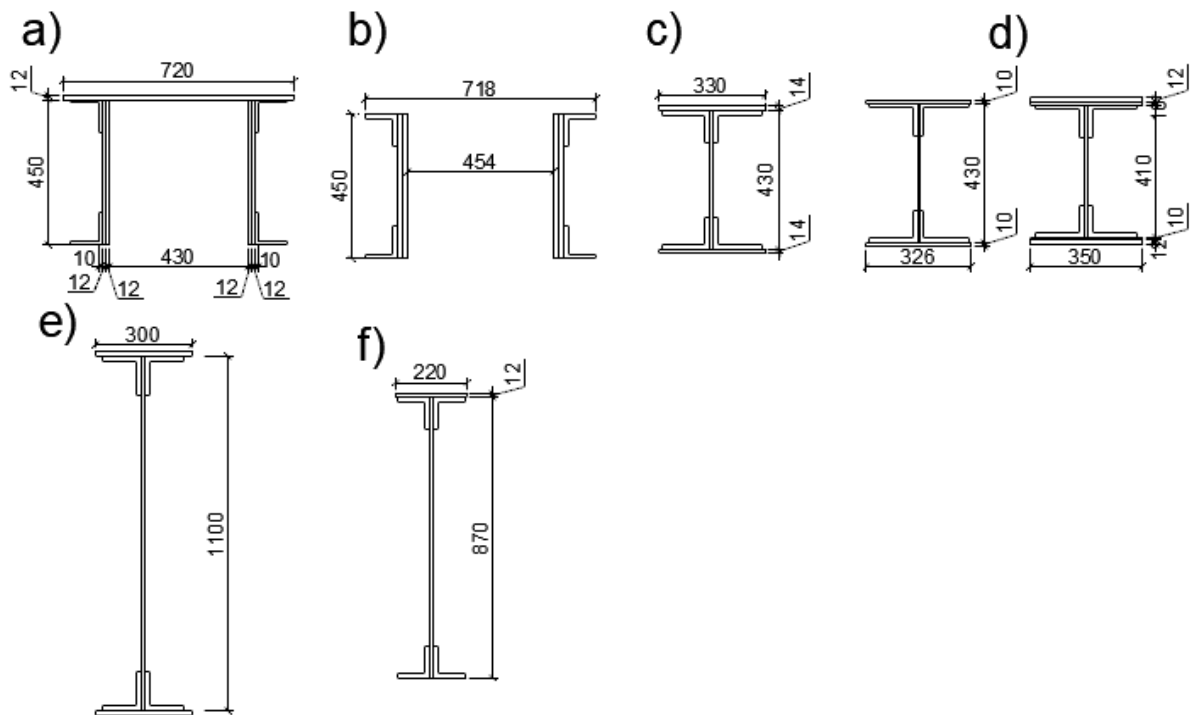


Obrázok 19: Schéma konštrukcie

Prvky na predmetnej konštrukcii (ukážka prierezov jednotlivých prvkov vid'. obr. 20):

- **Horný a spodný pás** – lomený horný pás je prvok namáhaný na tlak a spodný pás priamy zase na ťah.
- **Diagonály** – v našom prípade diagonály 1,3,5 sú ťahané a 2,4,6 sú tlačené, kde sklon diagonál sa pohybuje v rozmedzí 47° až 55°

- **Zvislice** – sú podružné prvky, ktorých úlohou je skracovanie vzperných dĺžok
- **Priečník a pozdĺžnik** – zaťaženie od železničnej dopravy sa zo železničného zvršku prenáša pozdĺžnikmi do priečnikov a ďalej do hlavných nosníkov.



Obrázok 20: Prierezy: a)horný pás; b)dolný pás; c)zvislica; d)prvá ťahaná a druhá tlačaná diagonála; e)priečníky; f)pozdĺžnik

- **Podmostovkové stuženie** – zabezpečuje pozdĺžnu tuhosť konštrukcie voči vodorovným účinkom zaťaženie pôsobiace kolmo na smer mosta (zaťaženie vetrom, bočnými rázmi). Nachádza sa v úrovni dolných pásnic dolného hlavného nosníka a je vytvorené z uholníkov „L“ typu rôznej veľkosti a hrúbky v jednotlivých poliach. [1]
- **Nadmostovkové stuženie** – okrem zabezpečenia pozdĺžnej tuhosti voči vodorovným účinkom, zabezpečuje stabilitu tlačných horných pásov konštrukcie. Na skúmanej konštrukcii sú použité uholníky „L“ 100x100 s hrúbkou 10 mm.
- **Stuženie pozdĺžnikov** – prenos vodorovných síl a zabezpečenie pozdĺžnikov proti strate stability pri ohybe. Vytvorené z profilov UPE 160 v prvom a poslednom poli, v ostatných poliach je UPE 180 s kombináciou „L“ uholníkov rôznej veľkosti a hrúbky.
- **Brzdné stužidlo** – prenáša pozdĺžne brzdné alebo rozjazdové sily, ktoré pôsobia rovnobežne s osou mosta.



Obrázok 21: Pohľad na podmostovkové stuženie



Obrázok 23: Pohľad na nadmostovkové stuženie



Obrázok 23: Prechod výšky krajného poľa na medziľahlé pole

4.3. SÚČASNÝ STAV



Obrázok 24: Nečistoty v styčníku (pripojenie zvislice a diagonály k spodnému pásu) priehradovej konštrukcie



Obrázok 25: Kórozia pozdĺžnika v mieste uloženia mostníc



Obrázok 26: Pohľad na napojenie pozdĺžnika na priečnik

5. ZAŤAŽENIE MOSTU

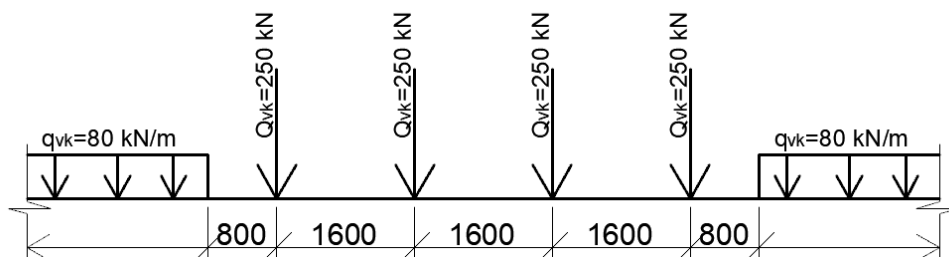
5.1. DOPRAVOU – ZAŤAŽOVACÍ MODEL 71 (LM 71)

Spojité zaťaženie $q_{vk}=80 \text{ kN/m}$

Osamelá sila $Q_{vk}=250 \text{ kN}$

Súčiniteľ (celoštátne dráhy) $\alpha=1,21$

Rozloženie zaťaženia 45 a 55% (nerovnomerné zaťaženie nákladom).



Obrázok 27: Usporiadanie zaťažovacieho modelu 71

Charakteristické hodnoty:

vonkajšia koľaj 55%

$$q_{vk} = 0,55 * q_{vk} * \alpha = 0,55 * 80 * 1,21 = 53,24 \text{ kN/m}$$

$$Q_{vk} = 0,55 * Q_{vk} * \alpha = 0,55 * 250 * 1,21 = 166,375 \text{ kN}$$

vnútorná koľaj 45%

$$q_{vk} = 0,45 * q_{vk} * \alpha = 0,45 * 80 * 1,21 = 43,56 \text{ kN/m}$$

$$Q_{vk} = 0,45 * Q_{vk} * \alpha = 0,45 * 250 * 1,21 = 136,125 \text{ kN}$$

Dynamické účinky

Pomocou dynamického súčiniteľa sa zväčšujú statické účinky od zaťažovacích modelov, v našom prípade od LM 71. [1]

- pre bežne udržiavanú trať

$$\varphi_3 = \frac{2,16}{\sqrt{L_\varphi - 0,2}} + 0,73 \quad 1,00 \leq \varphi_3 \leq 2,0 \quad (4)$$

kde L_φ je náhradná dĺžka v metroch podľa tabuľky 6.2 [9]

Pozdĺžnik - L_φ ako trojnásobok vzdialenosti priečnikov (v našom prípade bola vybraná vzdialenosť 6,25 m)

$$L_\varphi = 6,25 * 3 = 18,75 \text{ m} \quad \rightarrow \quad \varphi_3 = 1,253$$

Priečník - L_{φ} ako dvojnásobok dĺžky priečníku

$$L_{\varphi} = 5,5 \cdot 2 = 11 \text{ m} \quad \rightarrow \quad \varphi_3 = 1,423$$

Hlavný nosník - rozpätie mostu

$$L_{\varphi} = 70,8 \text{ m} \quad \rightarrow \quad \varphi_3 = 0,993 \quad (1,15 \leq \varphi_3 \leq 2,0)$$

preto $\varphi_3 = 1,00$ pre hl. nosník

5.2. BOČNÉ NÁRAZY

Ide o sústredenú vodorovnú silu orientovanú kolmo na os koľaje v úrovni temena koľajníc (nenásobí sa dynamickým súčiniteľom), uvažujú sa vždy so zvislým zaťažením železničnej dopravy. [1]

$$Q_{sk} = 100 \text{ kN}$$

$$Q_{sk} = 100 \cdot \alpha$$

$$Q_{sk} = 100 \cdot 1,21 = 121 \text{ kN} \quad (\text{charakteristická hodnota dvoch síl})$$

5.3. ROZJAZDOVÁ A BRZDNÁ SILA

Rozjazdová sila:

$$Q_{lak} = 33 \cdot L_{a,b} \leq 1000 \text{ kN} \quad (5)$$

$$Q_{lak} = 33 \cdot 70,8 = 2336,4 \leq 1000 \text{ kN} \quad \rightarrow \quad Q_{lak} = 1000 \text{ kN}$$

Brzdná sila:

$$Q_{lbk} = 20 \cdot L_{a,b} \leq 6000 \text{ kN} \quad (6)$$

$$Q_{lbk} = 20 \cdot 70,8 = 1416 \leq 6000 \text{ kN} \quad \rightarrow \quad Q_{lbk} = 1416 \text{ kN}$$

Koľaje majú zhodný smer jazdy a $Q_{lak} \leq Q_{lbk}$, z tohto dôvodu sa budú uvažovať brzdné sily na dvojici koľají.

5.4. ZAŤAŽENIE VETROM

$$\text{pôvodná rýchlosť vetra} \quad v_{b,0} = 24 \text{ m/s}$$

$$\text{súčiniteľ smeru vetra} \quad c_{dir} = 1$$

$$\text{súčiniteľ ročného obdobia} \quad c_{season} = 1$$

$$\text{základná rýchlosť vetra} \quad v_b = 24 \text{ m/s}$$

$$\text{parameter drsnosti terénu} \quad z_0 = 0,01$$

merná hmotnosť vzduchu	$\rho = 1,25$
výška konštrukcie nad zemou	$z = 15,2\text{m}$
súčiniteľ turbulencie	$k_1 = 1$
súčiniteľ ortografie	$c_0 = 1$

súčiniteľ drsnosti

$$k_r = 0,19 * \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 * \left(\frac{0,01}{0,05}\right)^{0,07} = 0,17 \quad (7)$$

$$c_r(z) = k_r * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,17 * \ln\left(\frac{15,2}{0,01}\right) = 1,245 \quad (8)$$

stredná rýchlosť vetra

$$v_m = c_r(z) * c_0 * v_b = 1,245 * 1 * 24 = 29,88 \text{ m/s} \quad (9)$$

intenzita turbulencie

$$I_v(z) = \frac{k_1}{c_0(z) * \ln\frac{z}{z_0}} = \frac{1}{1 * \ln\frac{15,2}{0,01}} = 0,136 \quad (10)$$

základný tlak vetra

$$q_b = \frac{1}{2} * \rho * v_b^2 = \frac{1}{2} * 1,25 * 24^2 = 0,36 \text{ kN/m}^2 \quad (11)$$

maximálny dynamický tlak

$$q_p(z) = [1 + 7 * I_v(z)] * \frac{1}{2} * \rho * v_m^2(z) = 1,089 \text{ kN/m}^2 \quad (12)$$

- **Priečny viator**

Výpočet referenčnej plochy priehradovej konštrukcie mostu:

Tabuľka 3: Určenie referenčnej plochy

Názov prvkov	[A/m]	Počet metrov	Plocha prútov
H	0,462	72,246	33,378
S	0,45	71,55	32,198
D	0,35	105,296	36,854
V	0,33	86,309	28,482
Pozdĺžnik	0,481	70,8	34,055
SUMA:			164,967

Referenčná plocha:	$A_{ref}=164,967 \text{ m}^2$
Šírka konštrukcie:	$b=5,5 \text{ m}$
Výška:	$d_{tot}=9,4 \text{ m}$
Pomer:	$b/d_{tot}=0,585$
Súčiniteľ sily pre zaťaženie vetrom:	$c_{f,x}=2,4$
Súčiniteľ vystavenia vetru:	$c_e=3,0$
Súčiniteľ zaťaženia vetrom pre mosty:	$C= c_e * c_{f,x}=2,4*3=7,2$ alebo z tab. normy podľa interpolácie $C=6,625$

Sila vetra v smere x (kolmo k dráhe):

$$F_w=1/2*\rho*v_b^2*C*A_{ref,x}=1/2*1,25*24^2*7,2*164,967=427,591 \text{ kN} \quad (13)$$

Zaťaženie pre jeden (26 styčníc na priebrade) = 16,446 kN

- **Prázdny vozeň** – navýšenie výšky o 4m po celej dĺžke mostu

Plocha vlaku	$4*70,8$	$283,2 \text{ m}^2$
Plocha mostu		$164,967 \text{ m}^2$
Celková plocha		$448,167 \text{ m}^2$

$$\text{Sila vetra v smere x : } F_{w,x}=\frac{1}{2} * \rho * v_b^2 * C * A_{ref,x} \quad (14)$$

$$F_{w,x} = 0,5*1,25*24^2*7,2*448,167 = \mathbf{1161,645 \text{ kN}}$$

- **Zvislý vietor**

Šírka konštrukcie:	$b=5,5$
Dĺžka konštrukcie:	$L=70,8\text{m}$
Referenčná plocha:	$A_{ref,z}= b*L = 5,5*70,8=389,4 \text{ m}^2$
Súčiniteľ:	$c_{f,z}=0,7$
Maximálny dynamický tlak:	$q_p(z) = 1,089 \text{ kN/m}^2$

Sila vetra v ose z (zvislo k dráhe):

$$F_{w,z}=q_p(z)* c_{f,z} * A_{ref,z}=1,089*0,7*389,4=\mathbf{296,84 \text{ kN}} \quad (15)$$

Excentrické rozdelenie :

Vnútorňa strana:

$$F_{w,z,1/4}= F_{w,z} /4=296,84/4=74,21 \text{ kN} \quad \Rightarrow \quad \text{pre 1 styčník: } 2,854 \text{ kN}$$

Vonkajšia strana:

$$F_{w,z,3/4}= F_{w,z} *3/4=296,84*3/4=222,63 \text{ kN} \quad \Rightarrow \quad \text{pre 1 styčník: } 8,562 \text{ kN}$$

6. RUČNÝ VÝPOČET

6.1. ZJEDNODUŠENÁ ANALÝZA KONŠTRUKCIE

Táto analýza nie je relevantným postupom určovania vnútorných síl pomocou zjednodušených rovinných výpočtových modelov, ale je to dobrá metóda na predbežné overovanie prierezov konštrukčných prvkov mostov. Zároveň poskytuje aj prehľad o reálnom pôsobení jednotlivých prvkov. [1]

Zjednodušená analýza prvkovej mostovky železničného mostu:

6.1.1. Pozdĺžnik

Stále zaťaženie

Koľajnice s upevňovadlami	0,75 kN/m
Poistné koľajnice	0,40 kN/m
Ryhovaný plech	0,20 kN/m
Drevené pražce (kus 80kg)	1,60 kN/m
<u>Vlastná tiaž pozdĺžnika (so stužením)</u>	<u>1,85 (+0,49) kN/m</u>

zaťaženie na 1 pozdĺžnik 5,29 kN/m

Výpočet ohybových momentov pre pozdĺžnik s dĺžkou 4,34m a s dĺžkou 6,25m od stáleho zaťaženia: $M=1/8 \cdot g \cdot l^2$ (16)

Charakteristický ohybový moment: $M_{g,k\ 6,25}=1/8 \cdot 5,29 \cdot 6,25^2=25,83\text{ kNm}$

$$M_{g,k\ 4,34}=1/8 \cdot 5,29 \cdot 4,34^2=12,46\text{ kNm}$$

Návrhový ohybový moment: $M_{g,d\ 6,25}=1/8 \cdot 5,29 \cdot 6,25^2 \cdot 1,35=34,87\text{ kNm}$

$$M_{g,d\ 4,34}=1/8 \cdot 5,29 \cdot 4,34^2 \cdot 1,35=16,821\text{ kNm}$$

Zaťaženie železničnou dopravou - zaťaženie od LM 71

Charakteristické hodnoty bez dynamického súčiniteľa (viď. kapitola 4.3.1):

pre vonkajšiu koľaj 55%: $Q_k = 166,375\text{ kN}$ $q_k = 53,24\text{ kN/m}$

pre vnútornú koľaj 45%: $Q_k = 136,125\text{ kN}$ $q_k = 43,56\text{ kN/m}$

Hľadanie kritickej polohy pre pozdĺžnik $l=6,25$:

Winklerové kritérium:

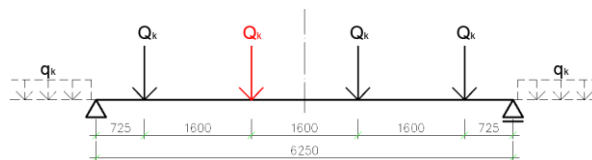
$$\sum_{i=1}^{k-1} F_i \leq \frac{x}{L} \sum_{i=1}^n F_i \leq \sum_{i=1}^k F_i \quad (17)$$

pre 55%:

$$166,375 \leq 250,76 \leq 332,75 \quad \text{OK}$$

pre 45%:

$$136,125 \leq 202,55 \leq 272,25 \quad \text{OK}$$



Obrázok 28: Naznačenie sily pre Winklerové kritérium

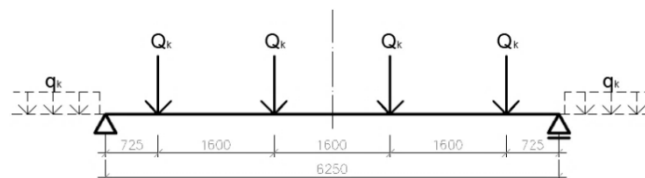
Bremenové kritérium:

pre 55% a 45%:

$$R_{55}=665,5; R_{45}=544,5$$

$$a=2,4\text{m}$$

$$x_k = 2,725 \text{ m}$$



Obrázok 29: Naznačenie výpočtu Bremenového kritéria

Šólinové kritérium:

$$\frac{1}{m} \sum_{i=1}^{k-1} F_i \leq \frac{1}{L} \sum_{i=1}^n F_i \leq \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k F_i \quad (18)$$

$$m = x_k - a/4 = 2,725 - 1,6/4 = 2,325\text{m}$$

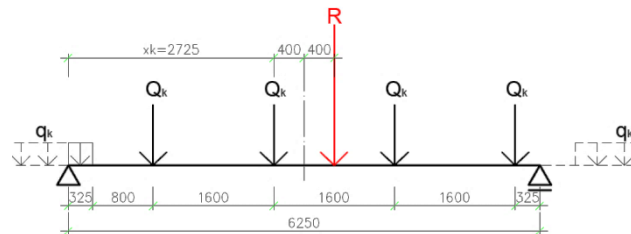
$$n = x_k + b/4 = 2,725 + 1,6/4 = 3,125\text{m}$$

pre 55%:

$$71,559 \leq 106,48 \leq 106,48 \quad \text{OK}$$

pre 45%:

$$58,548 \leq 87,12 \leq 87,12 \quad \text{OK}$$



Obrázok 30: Naznačenie kritickej polohy

Výsledné charakteristické momenty pre kritickú polohu pod druhou silou LM 71:

$$M_{k,\max,55} = 526,166 \text{ kNm}$$

$$M_{k,\max,45} = 430,42 \text{ kNm}$$

Podobne ako pri pozdĺžniku s dĺžkou 6,25 m budeme hľadať moment pre krajné pole pre pozdĺžnik s dĺžkou 4,34 m :

Winklerové kritérium:

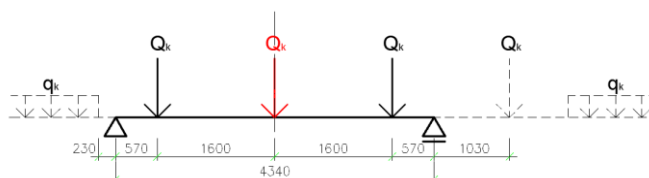
$$\sum_{i=1}^{k-1} F_i \leq \frac{x}{L} \sum_{i=1}^n F_i \leq \sum_{i=1}^k F_i$$

pre 55%:

$$166,375 \leq 249,563 \leq 332,75 \quad \text{OK}$$

pre 45%:

$$136,125 \leq 204,188 \leq 272,25 \quad \text{OK}$$



Obrázok 31: Naznačenie sily pre Winklerové kritérium pre pozdĺžnik $l = 4,34 \text{ m}$

Bremenové kritérium:**pre 55% a 45%:**

$$R_{55}=499,125; R_{45}=408,375$$

$$a=1,6 \text{ m}$$

$$x_k= 2,17 \text{ m}$$

Šólinové kritérium:

$$\frac{1}{m} \sum_{i=1}^{k-1} F_i \leq \frac{1}{L} \sum_{i=1}^n F_i \leq \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k F_i$$

$$m = x_k - a/4 = 2,17 - 1,6/4 = 1,77 \text{ m}$$

$$n = x_k + b/4 = 2,17 + 1,6/4 = 2,57 \text{ m}$$

$$\text{pre 55\%: } 93,997 \leq 115,006 \leq 129,475 \quad \text{OK}$$

$$\text{pre 45\%: } 76,907 \leq 94,096 \leq 105,934 \quad \text{OK}$$

Výsledné charakteristické momenty pre kritickú polohu pod druhou silou LM 71:

$$M_{k,\max,55} = 275,35 \text{ kNm}$$

$$M_{k,\max,45} = 225,29 \text{ kNm}$$

Orientačný výpočet výsledkov relatívnych vnútorných síl pozdĺžnika od zvislých zaťažení sa môžu stanoviť na modely nosníka na pružných podperách s pomocou zjednodušených vzťahov [1]:

Tabuľka 4: Orientačný výpočet pomocou zjednodušených vzťahov

Zjednodušené vzťahy		55%	45%
Ohybový moment v krajnom poli [kNm]	$1,00 \cdot M_{\max,k}$	275,35	225,29
Ohybový moment vo vnútornom poli [kNm]	$0,80 \cdot M_{\max}$	420,933	344,336
Ohybový moment nad podporou [kNm]	$0,75 \cdot M_{\max}$	394,625	322,815
Podporová reakcia krajná [kN]	$1,00 \cdot R_{\max}$	204,19	249,56
Podporová reakcia medziľahlá [kN]	$1,10 \cdot R_p$	375,79	307,47

Posudok pozdĺžnika (s dĺžkou 6,25 m) na najväčší ohybový moment:

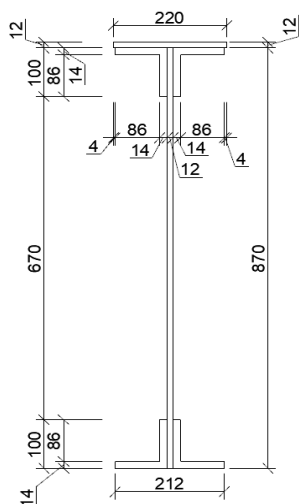
$$\text{Súčiniteľ pre stále zaťaženie} \quad 1,35$$

$$\text{Súčiniteľ pre zaťaženie žel. dopravou} \quad 1,45$$

$$\text{Dynamický súčiniteľ pre pozdĺžnik} \quad 1,253$$

Maximálny ohybový moment pre vonkajšiu koľaj (55%) od vlastnej tiaže pozdĺžnika a od zaťaženie železničnou dopravou z LM 71:

$$M_{d,\max} = 25,83 \cdot 1,35 + 420,933 \cdot 1,253 \cdot 1,45 = 799,643 \text{ kNm}$$



Zatriedenie prierezu pozdĺžnika:

$$t_f < 40 \text{ mm}, f_y = 360 \text{ MPa} \Rightarrow \xi = 0,81$$

$$\text{stena: } c = 870 \text{ mm}, t = 12 \text{ mm}$$

$$c/t = 870/12 = 72,5 \leq 124\xi = 124 \cdot 0,81 = 100,44 \quad \text{trieda 3.}$$

Prierezové charakteristiky:

$$\text{Plocha: } A = 2,35 \text{e-2 m}^2$$

$$\text{Prierezový modul: } W_{y,pl} = 5,8431 \text{e-3 m}^3$$

$$\text{Súčiniteľ spoľahlivosti: } \gamma_{M0} = 1,00$$

Obrázok 32: Prierez posudzovaného pozdĺžnika

Momentová únosnosť:

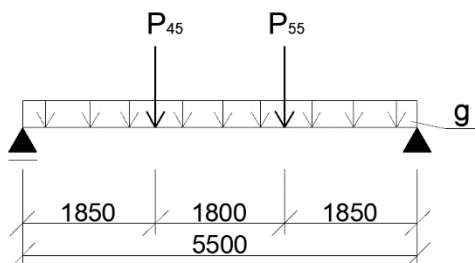
$$M_{Rd} = W_{y,pl} \cdot f_y / \gamma_{M0} = 5,8431 \text{e-3} \cdot 360 \text{e3} = 2103,516 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 2103,516 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 799,643 \text{ kNm}$$

VYHOVUJE

6.1.2. Priečník

Dynamický súčiniteľ pre priečník: 1,423



Obrázok 33: Schéma zaťaženia priečníka

Stále zaťaženie

Vlastná hmotnosť

$$\text{priečníka} \quad 0,0357 \cdot 78,5 \cdot 1,35 \quad 3,78 \text{ kN/m}$$

$$\text{Reakcia od stáleho zaťaženia na pozdĺžnik} \quad 16,531 \cdot 1,35 \quad 22,32 \text{ kN}$$

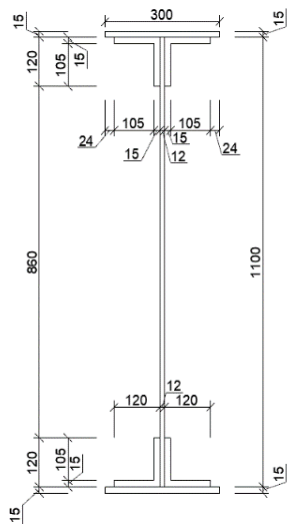
Reakcie od pozdĺžnika po prejazde vlakom

$$55\% \quad 1,45 \cdot 375,79 \cdot 1,423 \quad 775,386 \text{ kN}$$

$$45\% \quad 1,45 \cdot 307,47 \cdot 1,423 \quad 634,418 \text{ kN}$$

Maximálny ohybový moment na priečníku:

$$M_{Ed} = 1400,80 \text{ kNm}$$



Obrázok 34: Prierez posudzovaného priečnika

Zatriedenie prierezu priečnika:

$$t_f < 40 \text{ mm}, f_y = 360 \text{ MPa} \Rightarrow \varepsilon = 0,81$$

$$\text{stena: } c = 1100 \text{ mm}, t = 12 \text{ mm}$$

$$c/t = 1100/12 = 92 \leq 124\varepsilon = 124 \cdot 0,81 = 100,44$$

trieda 3.

Prierezové charakteristiky:

$$\text{Plocha: } A = 3,57 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$\text{Prierezový modul: } W_{y,el} = 1,3664 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$$

$$\text{Súčiniteľ spoľahlivosti: } \gamma_{M0} = 1,00$$

Momentová únosnosť:

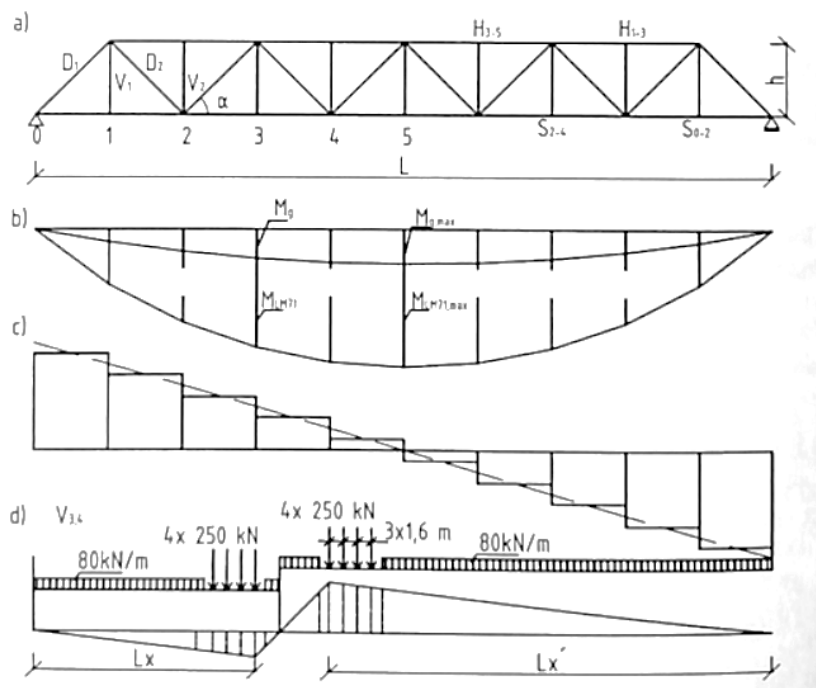
$$M_{Rd} = W_{y,pl} \cdot f_y / \gamma_{M0} = 1,3664 \cdot 10^{-2} \cdot 360 \cdot 10^3 = 4919,04 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 4919,04 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 1407,83 \text{ kNm}$$

VYHOVUJE

6.1.3. Hlavný nosník

Pri analýze hlavných priehradových nosníkov sa uvažuje s rovinnými prútovými sústavami s kĺbovým pripojením prútov v jednotlivých uzloch. Zaťaženie je predpokladané len v uzloch. Za týchto predpokladov je nosník statický určitý a prúty sú namáhané len osovými silami. [1]



Obrázok 35: Postup zjednodušeného výpočtu osových síl a) schéma priehradového nosníka; b) momenty v pridružených momentových stredoch; c) priečne sily od rovnomerného zaťaženia; d) vplyvová čiara priečnej sily [1]

Výpočet vlastnej hmotnosti

Základná hmotnosť priehradového nosníka 2D SCIA modelu: 80,801 t

Ostatné zaťaženie nezapočítané v modeli:

Tabuľka 5: Ostaté zaťaženie pre pol mosta

	Kusy	Dĺžka (m)	kg/m	kus/kg	t
Priečník (2,8 kN/m)	13	2,75	285,52	-	10,01
Pozdĺžnik + stuž. pozdl.	1	70,8	234,0	-	16,57
Stuženie (podm., nadm.)	-	-	-	-	14,82
Plechý	1	70,8	20	-	1,416
Mostnice	122	1,25	-	80	12,20
Koľaje s upevn.	1	70,8	75	-	5,310

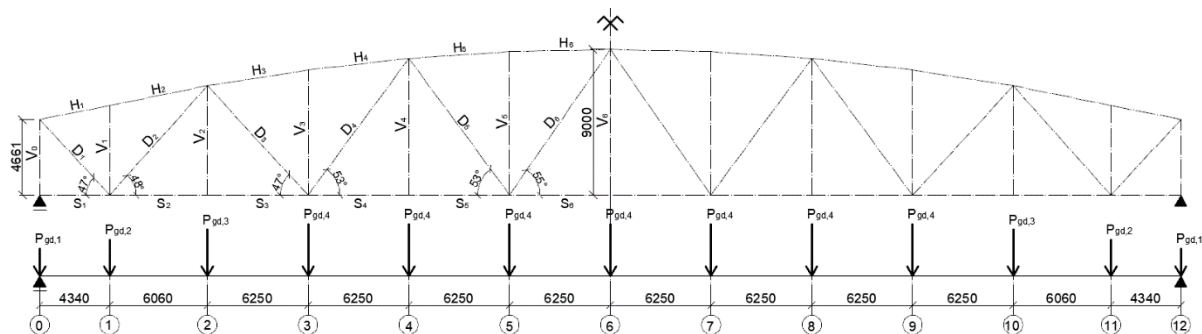
SPOLU 141,127 ton

súčiniteľ pre vlastnú hmotnosť 1,35

Návrhová hodnota celkovej hmotnosti 190,521 ton

Výpočet ohybových momentov od vlastnej tiaže na zjednodušenom modeli:

Z dôvodu symetrickej konštrukcie postačí výpočet hodnôt vnútorných síl len pre pol konštrukcie, hodnoty druhej časti konštrukcie budú odzrkadlené.



Obrázok 36: Schéma zaťaženia zjednodušeného modelu

Sily vlastnej tiaže pre jednotlivé styčníky (viď. obr. č. 30):

$P_{gd,1} = 58,395 \text{ kN};$ $P_{gd,2} = 139,932 \text{ kN};$

$P_{gd,3} = 165,631 \text{ kN};$ $P_{gd,4} = 168,158 \text{ kN}$

Výpočet ohybových momentov od zaťaženia železničnou dopravou z LM 71 na zjednodušenom modeli:

dynamický súčiniteľ pre hlavný nosník : 1,00

výpočet pre vonkajšiu koľaj - **vonkajšia 55% s dynamickým účinkom pre hl. nosník:**

$q_{vk} = 53,24 * 1,00 = 53,24 \text{ kN/m}$

$q_{vd} = 53,24 * 1,00 * 1,45 = 77,198 \text{ kN/m}$

$Q_{vk} = 166,375 * 1,00 = 166,375 \text{ kN}$

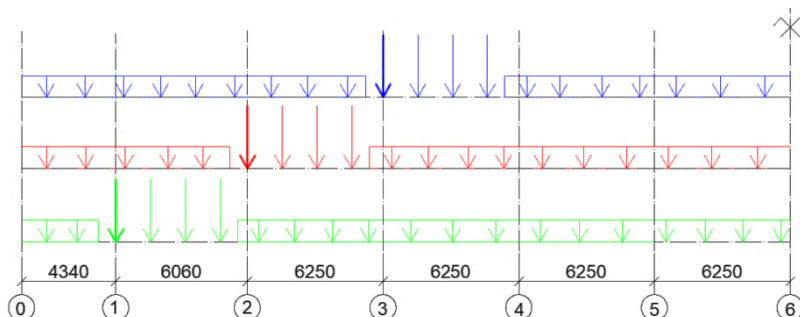
$Q_{vd} = 166,375 * 1,00 * 1,45 = 241,244 \text{ kN}$

Určenie kritickej polohy zaťaženia pomocou Winklerovho kritéria:

pre styčník 1: $0 \leq 59,125 \leq 241,244$ \Rightarrow pod prvou silou

pre styčník 2: $0 \leq 141,748 \leq 241,244$ \Rightarrow pod prvou silou

pre styčník 3: $0 \leq 226,933 \leq 241,244$ \Rightarrow pod prvou silou

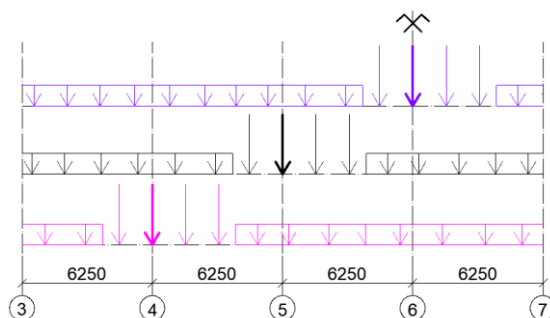


Obrázok 37: Poloha zaťaženia pre bod 1 (zelené), 2(červená), 3(modrá)

pre styčník 4: $241,244 \leq 312,118 \leq 482,488$ \Rightarrow pod druhou silou

pre styčník 5: $241,244 \leq 397,303 \leq 482,488$ \Rightarrow pod druhou silou

pre styčník 6: $241,244 \leq 482,488 \leq 482,488$ \Rightarrow pod druhou silou



Obrázok 38: Poloha zaťaženia pre bod 4 (ružová), 5(čierna), 6(fialová)

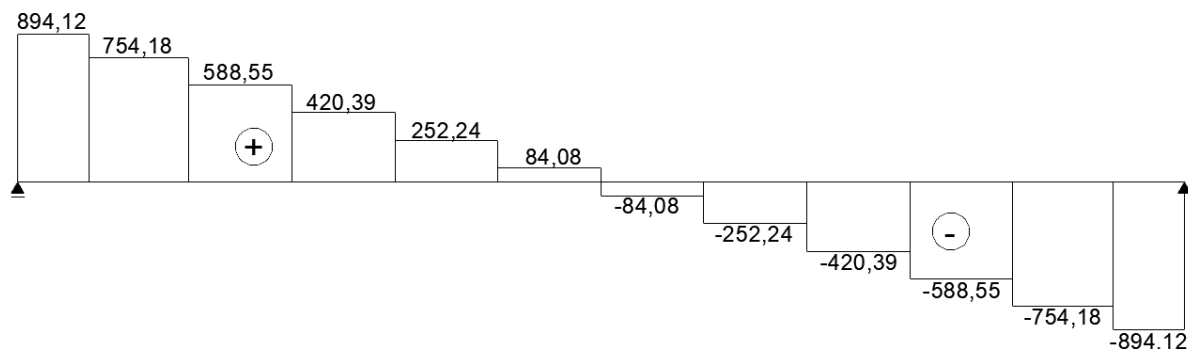
Výsledné hodnoty momentov pomocou sčítania dielčích momentov od vlastnej hmotnosti a zaťaženia dopravou z modelu LM 71:

Tabuľka 6: Hodnoty ohybových momentov

kNm/bod	0	1	2	3	4	5	6
M_{gd}	0,0	3880,46	8450,82	12129,28	14756,74	16333,23	16858,72
M_{qd}	0,0	13007,18	28282,95	40556,24	47394,07	53502,05	56074,86
M_{Ed}	0,0	16887,64	36733,77	52685,52	62150,81	69835,28	72933,58

Výpočet posúvajúcich síl od vlastnej hmotnosti:

Priebeh posúvajúcich síl a hodnoty možno vidieť na obrázku č.39.



Obrázok 39: Priebeh posúvajúcich síl od vlastnej hmotnosti

Výpočet posúvajúcich síl od pohyblivého zaťaženia pre schému zaťaženia LM 71:

Hodnoty posúvajúcich síl sa zistili za pomoci vplyvových čiar, pre názornosť je uvedená

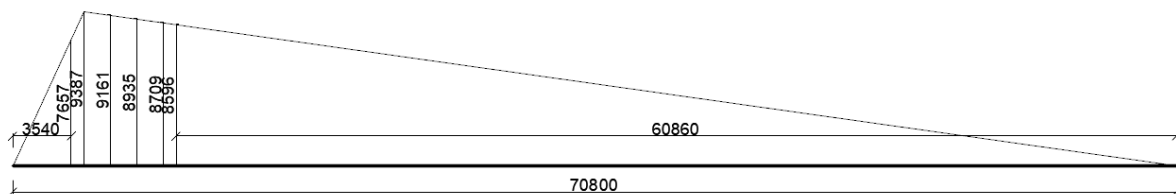
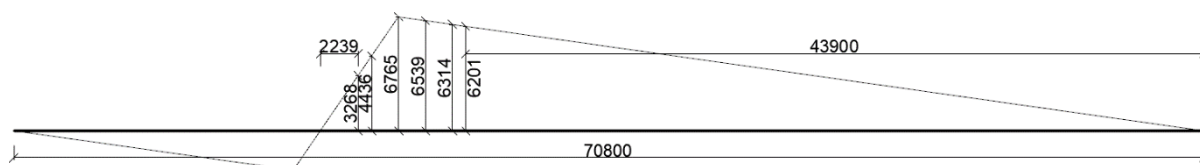


schéma s výpočtom pre pole 0-1 a 3-4, ostatné schémy a výpočty sú uvedené v prílohe č.1.

Obrázok 40: Schéma vplyvových čiar pre max. posúvajúcu silu v uzle 1

Tabuľka 7: Výpočet posúvajúcich síl v uzle 1

Jednotlivé sily		Hodnota vplyv. účinku		Posúvajúca sila [kN]
1	241,244 kN	0,9387		226,456
2		0,9161		221,004
3		0,8935		215,552
4		0,8709		210,099
Spojité zaťaženie		Priemerná vplyvová hodnota	Účinná dĺžka [m]	Posúvajúca sila [kN]
q ^r	77,198 kN/m	0,3829	3,54	104,639
q ^p		0,4298	60,86	2019,317
Súčet posúvajúcich síl pre pole 0-1 :				2997,066 kN



Obrázok 41: Schéma vplyvových čiar pre max. posúvajúcu silu v uzle 3

Tabuľka 8: Výpočet posúvajúcich síl v uzle 3

Jednotlivé sily		Hodnota vplyv. účinku		Posúvajúca sila [kN]
1	241,244 kN	0,4436		107,016
2		0,6765		163,202
3		0,6539		157,749
4		0,6314		152,321
Spojité zaťaženie		Priemerná vplyvová hodnota	Účinná dĺžka [m]	Posúvajúca sila [kN]
q ^p	77,198 kN/m	0,1634	2,239	28,243
q ^p		0,3101	43,90	1050,926
Súčet posúvajúcich síl pre pole 3-4 :				1659,458 kN

Hodnoty posúvajúcich síl:

Tabuľka 9: Hodnoty posúvajúcich síl od vlastnej tiaže, od LM 71 a celková hodnota

kN/bod	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6
V_{gd}	894,12	754,18	588,55	420,39	252,24	84,08
V_{qd}	2997,066	2564,915	2101,981	1659,458	1282,887	953,892
V_{Ed}	3891,186	3319,095	2690,531	2079,848	1535,127	1037,972

Výpočet osových síl v prvkoch hlavného nosníka [1]:

- v pásoch

$$N_{Ed,i}^S = -N_{Ed,i}^H = \frac{M_{Ed,j}}{h} \quad (18)$$

Tabuľka 10: Hodnoty normálových síl v hornom a dolnom páse priehradového nosníka

Označenie prútov i	Výška priehradového nosníku h [m]	Ohybové momenty $M_{Ed,j}$ [kNm]	Normálová sila v spodnom páse $N_{Ed,i}^S$ [kN]	Normálová sila v hornom páse $N_{Ed,i}^H$ [kN]
1	5,10	16887,64	3311,302	-3311,302
2	6,15	36733,77	5972,971	-5972,971
3	7,25	52685,52	7266,968	-7266,968
4	8,09	62150,81	7682,424	-7682,424
5	8,85	69835,28	7890,992	-7890,992
6	8,93	72933,58	8167,254	-8167,254

- v diagonálach

$$N_{Ed,i}^D = \pm \frac{V_{i-1,i}}{\sin \alpha} \quad (19)$$

Tabuľka 11: Hodnoty normálových síl v diagonálach

Označenie prútov i	Posúvajúca sila $V_{i-1,i}$ [kN]	Uhol diagonály so spodným pásom α [°]	Normálová sila v diagonále $N_{Ed,i}^D$ [kN]
1	3891,186	47	(+) 5320,525
2	3319,095	48	(-) 4466,283
3	2690,531	47	(+) 3678,837
4	2079,848	53	(-) 2604,252
5	1535,127	53	(+) 1922,187
6	1037,972	55	(-) 1267,131

- v zvisliciach

$$V = R_{cb} \quad (20)$$

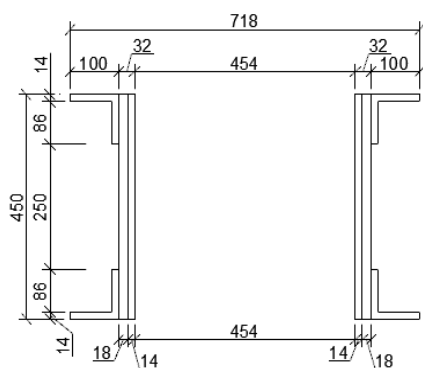
kde R_{cb} je reakcia priečnika

Osová sila vo zvisliciach v uzloch, v ktorých sa zaťaženie roznáša aj diagonálami je nulová.

[1]

6.2. POSÚDENIE PRÚTOV HLAVNÉHO NOSNÍKA

• Dolný pás (pole 5-6)



Obrázok 42: Prierez dolného pásu

Posúdenie na **t'ah** nitovaného prierezu spodného pásu.

Normálová sila v poli 5-6: $N_{Ed,i}^S = 8167,254 \text{ kN}$

Celková plocha: $A = 43,716 \text{E-3 m}^2$

Medz klzu: $f_y = 360 \text{ MPa}$

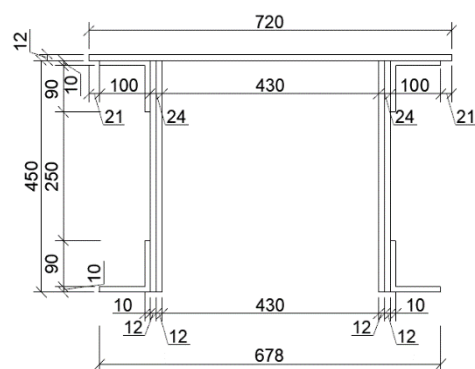
Posúdenie:

$$N_{Rd} = 43,716 \text{E-3} \cdot 360 \text{E3} / 1 = 15737,76 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = 15737,76 \text{ kN} \geq N_{Ed,i}^S = 8167,254 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

• Horný pás (pole 5-6)



Obrázok 43: Prierez horného pásu

Posúdenie na **tlak** nitovaného prierezu horného pásu

Normálová sila v poli 5-6: $N_{Ed,i}^H = 8167,254 \text{ kN}$

Celková plocha: $A = 40,34 \text{E-3 m}^2$

Medz klzu: $f_y = 360 \text{ MPa}$

Posúdenie:

$$N_{Rd} = 40,34 \text{E-3} \cdot 360 \text{E3} / 1 = 14522,4 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = 14522,4 \text{ kN} \geq N_{Ed,i}^H = 8167,254 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

Posúdenie na **vzper**

Vzperná dĺžka: $L_{cr,y} = L_{cr,z} = 6,252 \text{ m}$

Momenty zotrvačnosti: $I_y = 1,0588 \text{E-3 m}^4$

$$I_z = 2,3368 \text{E-3 m}^4$$

Polomer zotrvačnosti: $i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{1,0588 \text{E-3}}{42,84 \text{E-3}}} = 0,15721 \text{ m} = 157,21 \text{ mm}$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{2,3368 \text{E-3}}{42,84 \text{E-3}}} = 0,23355 \text{ m} = 233,55 \text{ mm}$$

Kritická štíhlosť: $\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{6,252}{0,157} = 39,82$ $\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{6,252}{0,234} = 26,718$

Zrovnávací štíhlost': $\lambda_1 = 93,9 * \varepsilon = 93,9 * \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 * \sqrt{\frac{235}{360}} = 75,866$

Pomerná štíhlost': $\lambda_y^- = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{39,82}{75,866} = 0,525$

$$\lambda_z^- = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{26,718}{75,866} = 0,352$$

Súčiniteľ vzpernosti:

$$\alpha = 0,49 \text{ [c]}$$

$$\phi = 0,5 * [1 + \alpha * (\lambda_y^- - 0,2) + \lambda_y^{-2}] \quad (21)$$

$$\phi_y = 0,5 * [1 + 0,49 * (0,525 - 0,2) + 0,525^2] = 0,717$$

$$\phi = 0,5 * [1 + \alpha * (\lambda_z^- - 0,2) + \lambda_z^{-2}] \quad (22)$$

$$\phi_z = 0,5 * [1 + 0,49 * (0,352 - 0,2) + 0,352^2] = 0,599$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^{-2}}} \quad (23)$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^{-2}}} = \frac{1}{0,717 + \sqrt{0,717^2 - 0,525^2}} = 0,83$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^{-2}}} = \frac{1}{0,599 + \sqrt{0,599^2 - 0,352^2}} = 0,923$$

Posúdenie:

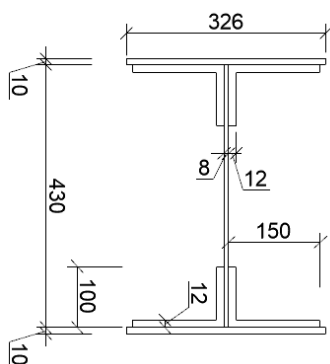
$$N_{Rd,y} = 0,83 * (40,34e-3 * 360e3 / 1) = 12041,64 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,y} = 12041,64 \text{ kN} \geq N_{Ed}^S = 8167,254 \text{ kN} \quad \mathbf{VYHOVUJE}$$

$$N_{Rd} = 0,923 * (40,34e-3 * 360e3 / 1) = 13404,18 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = 13404,18 \text{ kN} \geq N_{Ed}^S = 8167,254 \text{ kN} \quad \mathbf{VYHOVUJE}$$

- **Diagonála (prút D1)**



Obrázok 44: Prierez prvej diagonály

Posúdenie na **t'ah**.

Normálová sila pre prvú diagonálu: $N_{Ed,i}^D = 5320,525$ kN

Celková plocha: $A = 21,384e-3 \text{ m}^2$

Medz klzu: $f_y = 360 \text{ MPa}$

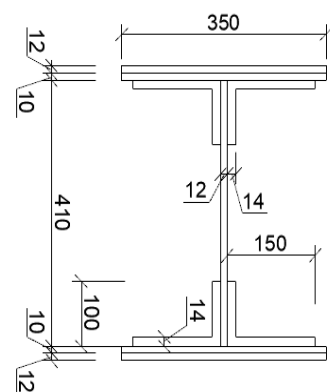
Posúdenie:

$$N_{Rd} = 21,384e-3 \cdot 360 / 1 = 7698,24 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = 7698,24 \text{ kN} \geq N_{Ed,i}^S = 5320,525 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

- **Diagonála (prút D2)**



Obrázok 45: Prierez druhej diagonály (D2)

Posúdenie na **tlak a vzper**.

Normálová sila pre druhú diagonálu: $N_{Ed,i}^D = 4466,283 \text{ kN}$

Celková plocha: $A = 33,536e-3 \text{ m}^2$

Medz klzu: $f_y = 360 \text{ MPa}$

Posúdenie:

$$N_{Rd} = 33,536e-3 \cdot 360e3 / 1 = 12072,96 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = 12072,96 \text{ kN} \geq N_{Ed,i}^H = 4466,283 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

Posúdenie na **vzper**:

Vzperná dĺžka: $L_{cr,y} = 9,075 \text{ m}$ (bez skracovania dĺžky)

$$L_{cr,z} = 9,075 \text{ m}$$

Momenty zotrvačnosti: $I_y = 2,2902e-4 \text{ m}^4$

$$I_z = 1,2260e-3 \text{ m}^4$$

Polomer zotrvačnosti: $i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{2,2902e-4}{33,536e-3}} = 0,083 \text{ m} = 83,0 \text{ mm}$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{1,2260e-3}{33,536e-3}} = 0,1912 \text{ m} = 191,20 \text{ mm}$$

Kritická štíhlosť: $\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{9,075}{0,083} = 109,816$ $\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{9,075}{0,1912} = 47,463$

$$\text{Zrovnávací štíhlost': } \lambda_1 = 93,9 * \varepsilon = 93,9 * \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 * \sqrt{\frac{235}{360}} = 75,866$$

$$\text{Pomerná štíhlost': } \lambda_y^- = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{109,816}{75,866} = 1,447$$

$$\lambda_z^- = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{47,463}{75,866} = 0,626$$

Súčiniteľ vzpernosti:

$$\text{zvolená krivka} \quad \alpha = 0,49 \text{ [c]}$$

$$\phi = 0,5 * [1 + \alpha * (\lambda_y^- - 0,2) + \lambda_y^{-2}] \quad (21)$$

$$\phi_y = 0,5 * [1 + 0,49 * (1,447 - 0,2) + 1,447^2] = 1,85$$

$$\phi = 0,5 * [1 + \alpha * (\lambda_z^- - 0,2) + \lambda_z^{-2}] \quad (22)$$

$$\phi_z = 0,5 * [1 + 0,49 * (0,626 - 0,2) + 0,626^2] = 0,80$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^{-2}}} \quad (23)$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^{-2}}} = \frac{1}{1,85 + \sqrt{1,85^2 - 1,447^2}} = 0,332$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^{-2}}} = \frac{1}{0,80 + \sqrt{0,80^2 - 0,626^2}} = 0,770$$

Posúdenie:

$$N_{Rd,y} = 0,77 * (33,536 \text{e-}3 * 360 \text{e}3 / 1) = 9297,36 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,y} = 9297,36 \text{ kN} \geq N_{Ed}^D = 4466,283 \text{ kN} \quad \textbf{VYHOVUJE}$$

$$N_{Rd,z} = 0,332 * (33,536 \text{e-}3 * 360 \text{e}3 / 1) = 4010,20 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,z} = 4010,20 \text{ kN} \geq N_{Ed}^D = 4466,283 \text{ kN} \quad \textbf{NEVYHOVUJE}$$

6.3. ZHRNUTIE POSÚDENIA PRVKOV

Tabuľkové posúdenie prútov hlavného nosníka pomocou vnútorných síl určených zjednodušenou metódou. (kompletnú tabuľku pre posúdenie na tlak je v prílohe č.2).

Tabuľka 12: Prvky namáhané ťahom

Ozn. prútu	Rovina	N_{Ed} [kN]	A [m ²]	f_{yd} [MPa]	$N_{t,Rd}$ (kN)	$N_{ed}/N_{b,Rd}$
D1	y	5320,525	2,14E-02	360	7698,24	0,691
	z	5320,525			7698,24	0,691
D3	y	3678,837	1,49E-02	360	5351,04	0,687
	z	3678,837			5351,04	0,687
D5	y	1922,187	1,57E-02	360	5660,64	0,340
	z	1922,187			5660,64	0,340
S1	y	3311,302	3,94E-02	360	14198,4	0,233
	z	3311,302			14198,4	0,233
S2	y	5972,971	3,94E-02	360	14198,4	0,421
	z	5972,971			14198,4	0,421
S3	y	7266,968	3,94E-02	360	14198,4	0,512
	z	7266,968			14198,4	0,512
S4	y	7682,424	3,94E-02	360	14198,4	0,541
	z	7682,424			14198,4	0,541
S5	y	7890,992	3,94E-02	360	14198,4	0,556
	z	7890,992			14198,4	0,556
S6	y	8167,254	3,94E-02	360	14198,4	0,575
	z	8167,254			14198,4	0,575

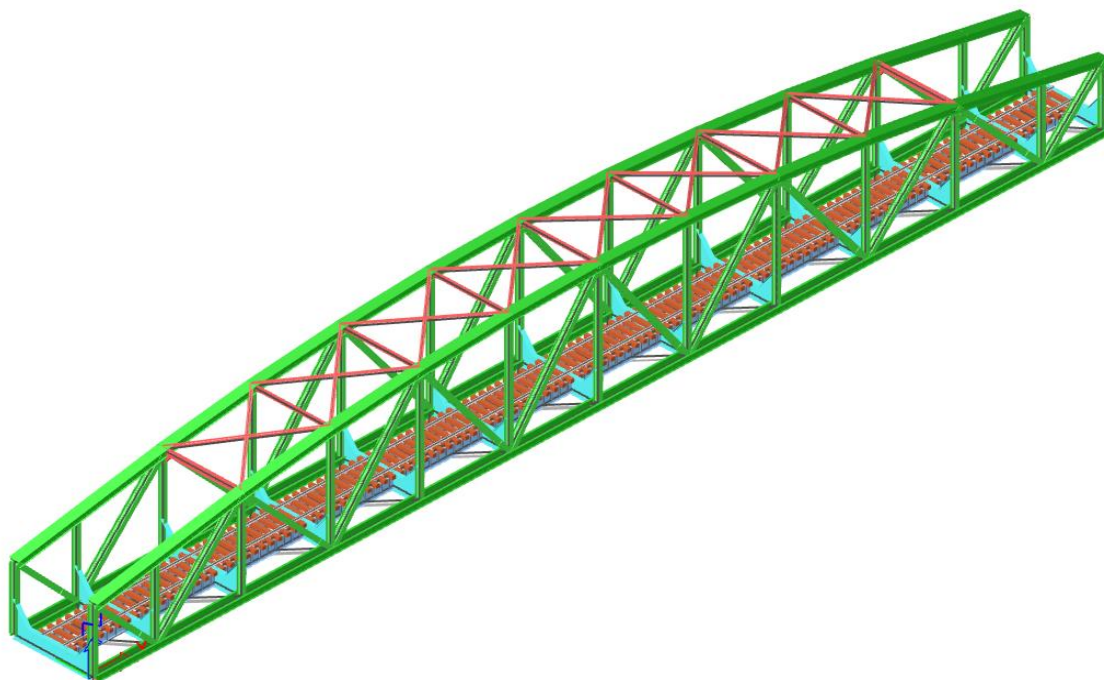
Tabuľka 13: Prvky namáhané tlakom

Ozn. prútu	Rovina	N_{Ed} [kN]	L_{cr} (m)	A [m ²]	I (m ⁴)	štíhlosť λ	$N_{b,Rd}$ (kN)	$N_{Ed}/N_{b,Rd}$
D2	y	4466,283	9,075	3,35E-02	2,29E-04	109,82	4010,20	1,114
	z	4466,283	9,075		1,23E-03	47,46	9297,36	0,480
D4	y	2604,252	10,501	2,59E-02	1,56E-04	135,30	2221,80	1,172
	z	2604,252	10,501		9,63E-04	54,47	6657,45	0,391
D6	y	1267,131	10,957	2,36E-02	1,32E-04	146,62	1770,79	0,716
	z	1267,131	10,957		8,77E-04	56,88	5904,40	0,215
H1	y	3311,302	10,609	3,78E-02	1,02E-03	64,60	8580,38	0,386
	z	3311,302	4,427		2,04E-03	19,07	13266,55	0,250
H2	y	5972,971	10,609	3,78E-02	1,02E-03	64,60	8580,38	0,696
	z	5972,971	6,186		2,04E-03	26,65	12571,01	0,475
H3	y	7266,968	6,327	3,78E-02	1,02E-03	38,53	11423,77	0,636
	z	7266,968	6,327		2,04E-03	27,26	12514,45	0,581
H4	y	7682,424	6,289	3,78E-02	1,02E-03	38,30	11447,09	0,671
	z	7682,424	6,289		2,04E-03	27,09	12529,71	0,613
H5	y	7890,992	6,264	3,78E-02	1,02E-03	38,14	11462,41	0,688
	z	7890,992	6,264		2,04E-03	26,98	12539,74	0,629
H6	y	8167,254	6,252	3,78E-02	1,02E-03	38,07	11469,75	0,712
	z	8167,254	6,252		2,04E-03	26,93	12544,55	0,651

7. VÝPOČTOVÝ MODEL V PROGRAME SCIA ENGINEER

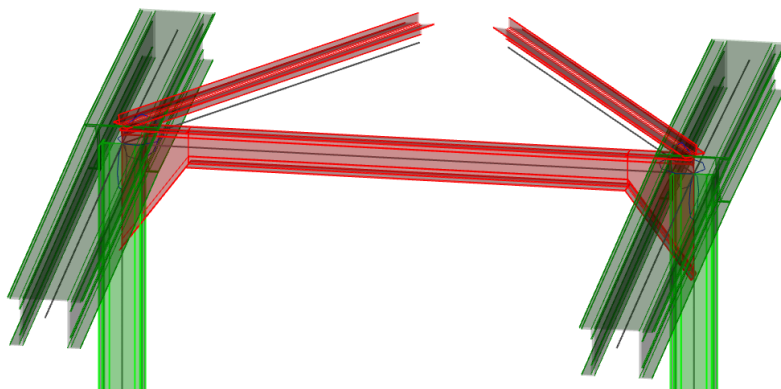
Pre porovnanie vnútorných síl medzi zjednodušenou ručnou metódou a 3D modelom, v ktorom sa uvažuje so spolupôsobením s ostatnými prvkami konštrukcie, bol vytvorený priestorový prútový model v programe SCIA Engineer 2020. Skladá sa z prútov, ktoré predstavujú jednotlivé konštrukčné prvky rôznych prierezov (charakteristické prierezy jednotlivých prvkov sú znázornené v kap. 4.2 obrázok č.20).

Keďže sa jedná o nitovaný most a potrebné profily program neobsahuje, bolo potrebné ich najskôr vytvoriť a následne ich importovať do programu. Pri ich tvorbe a následnému umiestneniu samotných prvkov sa vychádzalo zo zapožičanej výkresovej dokumentácie.



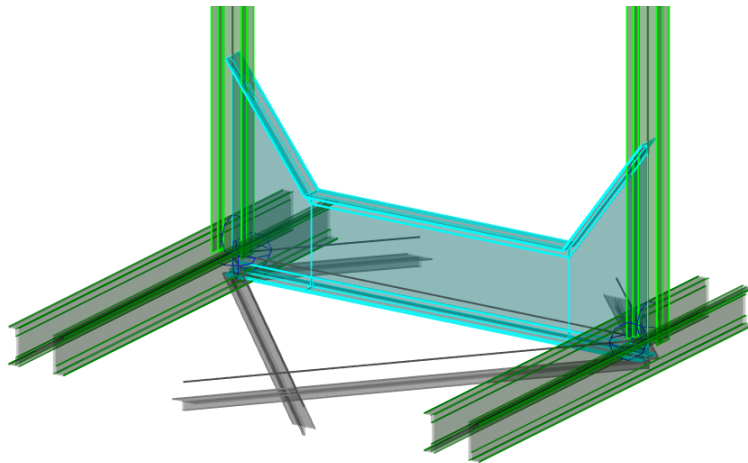
Obrázok 46: Model konštrukcie mosta

Napojenie jednotlivých prútov je realizované v modeli buď ako tuhé spojenie alebo klbové. Prvky hlavného nosníka, ako horný a dolný pás je spojený tuhými spojmi, výplňové prúty sú realizované pomocou klbového spoju. Priečniky, pozdĺžniky a horné priečne stužidlo s nábehom sú pripojené pomocou tuhého rámového spoja. Prvky stuženia (horné, dolné a stuženie pozdĺžnikov) je obdobne ako výplňové prúty pripojené pomocou klbov.

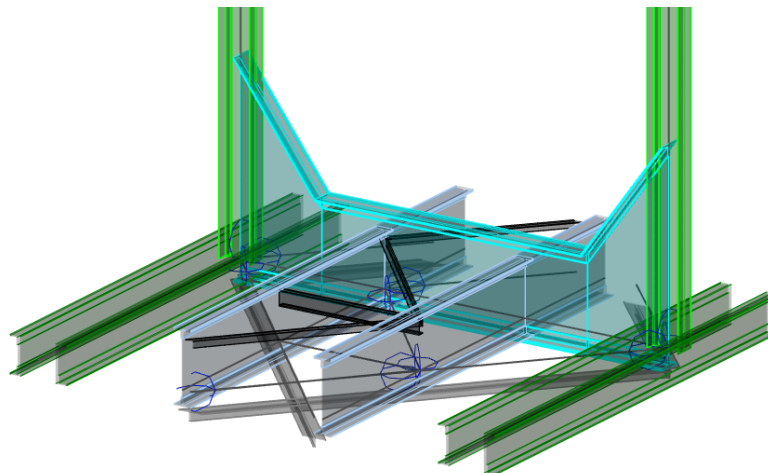


Obrázok 47: Horné stuženie - prvý portál mosta

Samotná mostovka mostu, horné a dolné stuženie, sú namodelované s reálnou excentricitou napojenia voči pásom hlavného nosníka.

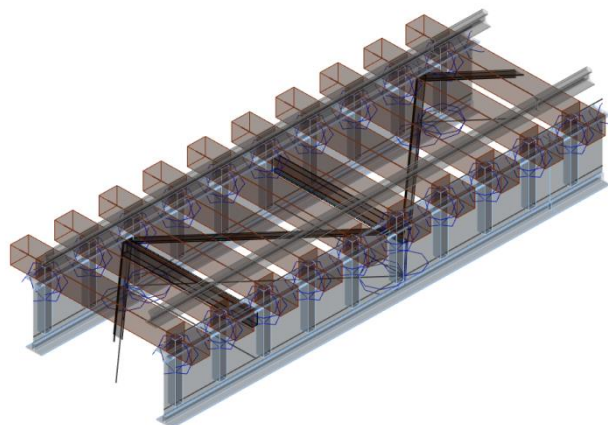


Obrázok 48: Pripojenie priečnika a spodného stužidla



Obrázok 49: Pripojenie pozdĺžnikov a stuženia pozdĺžnikov

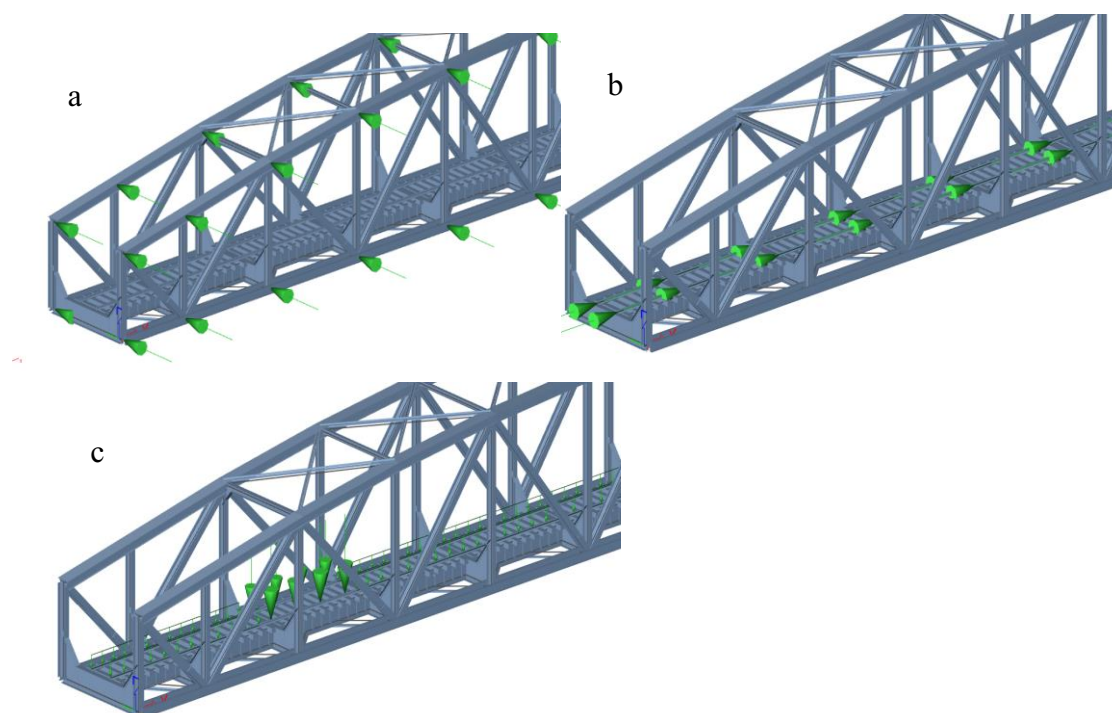
Pre presnejšie umiestnenie zaťaženia a vystihnúť správanie sa konštrukcie boli vymodelované aj mostnice s rozmermi 250x250x2500 s koľajnicami, ktoré boli pripojené k pozdĺžnikom pomocou tuhých ramien (prvky s vysokým modulom pružnosti a s nulovou hmotnosťou).



Obrázok 50: Uloženie mostníc

7.1. MODELOVANIE ZAŤAŽENIA

Oproti ručnému výpočtu, kde sa počítalo len so zaťažením od železničnej dopravy LM 71, v modeli sú zahrnuté aj ostatné zložky zaťaženia od dopravy ako rozjazdové sily, brzdné sily, bočnérazy a samozrejme aj nedopravné zaťaženia – vietor. Premennivé zaťaženie od dopravy bolo zjednodušené umiestnené do uzlov.



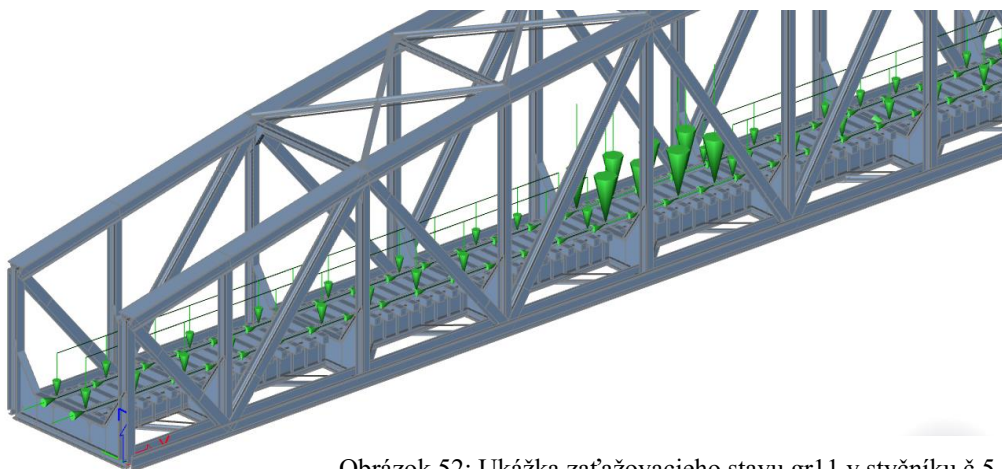
Obrázok 51: Príklady zaťaženia a) priečný vietor; b) brzdná sila; c) zaťaženie LM71 v

Pričom pôsobenie zložiek zaťaženia od železničnej dopravy sa uvažuje ako zostava zaťaženia (tab. č.. Každá zostava predstavuje jednotlivé premenné zaťaženie pre kombináciu s ostatným nedopravným zaťažením).

Tabuľka 14: Zostavy zaťaženia od železničnej dopravy [9]

	Zvislé sily			Vodorovné sily		
Zostava zaťaženia	LM71/SW0	SW2	Nezaťažený vlak	Rozjazd/ brzdzenie	Odstredivá sila	Bočné nárazy
gr 11	1	-	-	1	0,5	0,5
gr 12	1	-	-	0,5	1	1
gr 13	1	-	-	1	0,5	0,5
gr 14	1	-	-	0,5	1	1
gr 15	-	-	1	-	1	1

Ak vedľajšie premenné zaťaženie prispievalo k priaznivým účinkom na konštrukcii voči premenlivému hlavnému zaťaženiu, v tom prípade sa s ním neuvažovalo.



Obrázok 52: Ukážka zaťažovacieho stavu gr11 v styčníku č.5

7.2. POSÚDENIE PRVKOV KONŠTRUKCIE

Obdobné tabuľkové posúdenie prútov priehradovej konštrukcie a vybraného stuženia na namáhanie ťahom a tlakom ako v kapitole 6.3 pričom dochádza len k zmene normálovej sily, ktorá je prebraná z programu.

Tabuľka 15: Prvky namáhané ťahovou silou

Ozn. prútu	Rovina	N_{Ed} [kN]	A [m ²]	f_{yd} [MPa]	$N_{b,Rd}$ (kN)	$N_{ed}/N_{b,Rd}$
D1	y	4998,55	2,14E-02	360	7698,24	0,649
	z	4998,55			7698,24	0,649
D3	y	2599,47	1,49E-02	360	5351,04	0,486
	z	2599,47			5351,04	0,486
D5	y	1151,99	1,57E-02	360	5660,64	0,204
	z	1151,99			5660,64	0,204
S1	y	2055,73	3,94E-02	360	14198,4	0,145
	z	2055,73			14198,4	0,145
S2	y	5657,96	3,94E-02	360	14198,4	0,398
	z	5657,96			14198,4	0,398
S3	y	5734,13	3,94E-02	360	14198,4	0,404
	z	5734,13			14198,4	0,404
S4	y	8184,37	3,94E-02	360	14198,4	0,576
	z	8184,37			14198,4	0,576
S5	y	8219,47	3,94E-02	360	14198,4	0,579
	z	8219,47			14198,4	0,579
S6	y	8806,94	3,94E-02	360	14198,4	0,620
	z	8806,94			14198,4	0,620
V2	y	1114,75	1,25E-02	360	4489,9	0,248
	z	1114,75			4489,9	0,248
V6	y	973,5	1,25E-02	360	4491,0	0,217
	z	973,5			4491,0	0,217
HS	y	224,79	3,84E-03	360	1383,4	0,162
	z	224,79			1383,4	0,162
DS	y	851,59	5,90E-03	360	2124,7	0,401
	z	851,59			2124,7	0,401

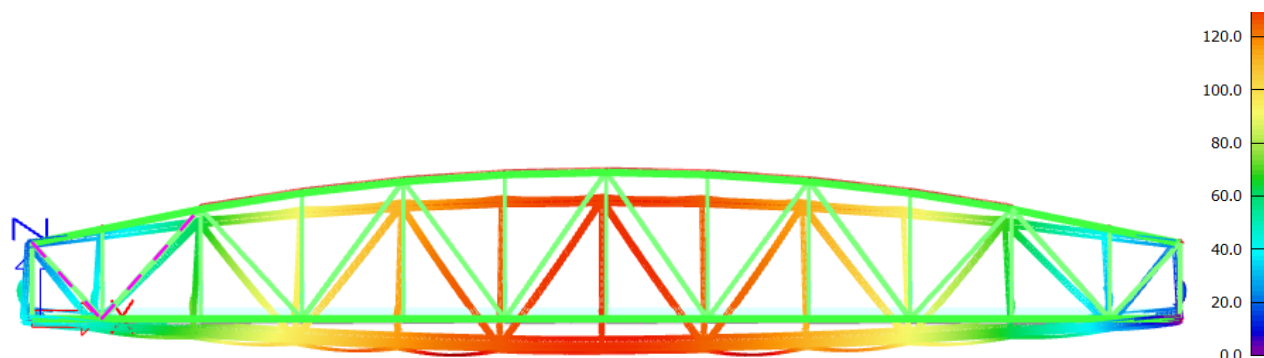
Tabuľka 16: Prvky namáhané tlakovou silou

Ozn. prútu	Rovina	NEd [kN]	Lcr (m)	A [m ²]	I (m ⁴)	štíhlosť λ	Nb,Rd (kN)	NEd/Nb,Rd
D2	y	4560,66	9,075	3,35E-02	2,29E-04	109,82	4010,20	1,137
	z	4560,66	9,075		1,23E-03	47,46	9297,36	0,491
D4	y	1776,24	10,501	2,59E-02	1,56E-04	135,30	2221,80	0,799
	z	1776,24	10,501		9,63E-04	54,47	6657,45	0,267
D6	y	548,53	10,957	2,36E-02	1,32E-04	146,62	1770,79	0,310
	z	548,53	10,957		8,77E-04	56,88	5904,40	0,093
H1	y	3472,49	10,609	3,78E-02	1,02E-03	64,60	8580,38	0,405
	z	3472,49	4,427		2,04E-03	19,07	13266,55	0,262
H2	y	3472,52	10,609	3,78E-02	1,02E-03	64,60	8580,38	0,405
	z	3472,52	6,186		2,04E-03	26,65	12571,01	0,276
H3	y	7898,45	6,327	3,78E-02	1,02E-03	38,53	11423,77	0,691
	z	7898,45	6,327		2,04E-03	27,26	12514,45	0,631
H4	y	7845,19	6,289	3,78E-02	1,02E-03	38,30	11447,09	0,685
	z	7845,19	6,289		2,04E-03	27,09	12529,71	0,626
H5	y	9233,69	6,264	3,78E-02	1,02E-03	38,14	11462,41	0,806
	z	9233,69	6,264		2,04E-03	26,98	12539,74	0,736
H6	y	9212,11	6,252	3,78E-02	1,02E-03	38,07	11469,75	0,803
	z	9212,11	6,252		2,04E-03	26,93	12544,55	0,734
V0	y	4197,27	4,661	2,76E-02	1,56E-04	62,07	6467,95	0,649
	z	4197,27	4,661		1,02E-03	24,24	9335,10	0,450
HS	y	466,4	4,1915	3,84E-03	5,65E-06	109,31	462,76	1,008
	z	466,4	4,1915		9,99E-06	82,20	682,14	0,684
DS	y	373,71	4,092	5,90E-03	7,99E-06	111,20	692,47	0,540
	z	373,71	4,092		1,15E-05	92,65	900,41	0,415

7.3. POSÚDENIE PRIEHYBU MOSTU

Maximálny zvislý posun konštrukcie je 125,6 mm, kde musí spĺňať podmienku:

$$w=125,6 \text{ mm} \leq w_{\text{lim}} = L/400 = 70800/400 = 177 \text{ mm} \quad \textbf{Vyhovuje}$$



Obrázok 53: Grafické znázornenie priehybu most

8. POROVNANIE VÝPOČTOV

V nasledujúcej tabuľke možno vidieť rozdiel normálových síl jednotlivých prútov z ručného výpočtu a vnútornými silami vypočítanými pomocou programu SCIA Engineer.

Tabuľka 17: Sumarizácia normalových síl

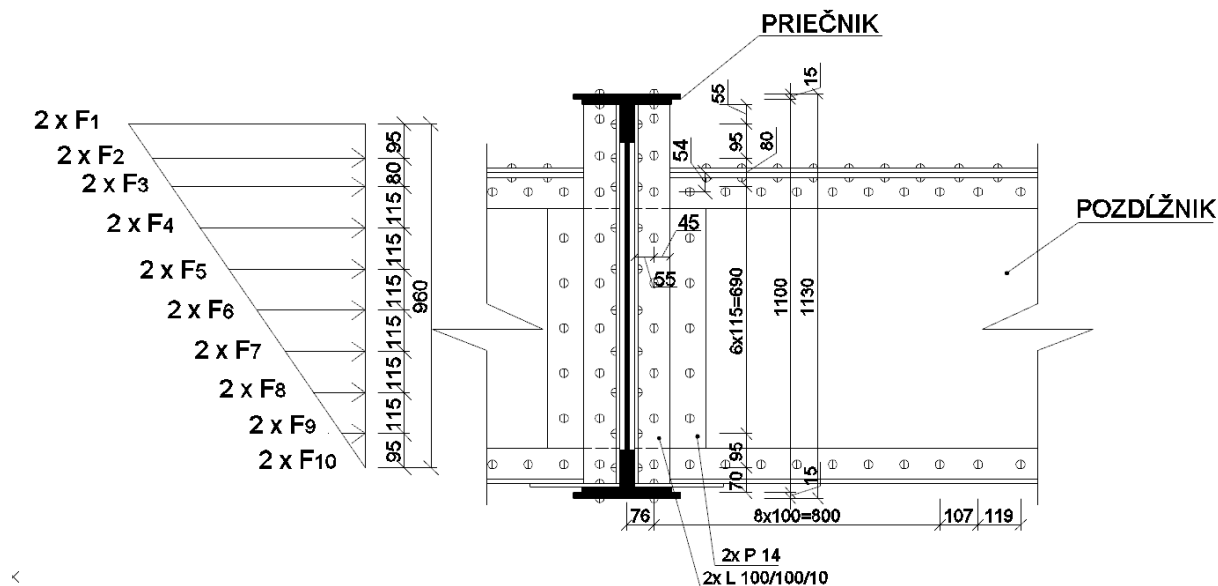
ŤAH (+) /TLAK (-)	PRVOK	Normálová sila NEd [kN]		Rozdiel (%)
		Ručný výpočet	SCIA 3D	
-	H1	3311,302	3472,49	4,87
-	H2	5972,971	3472,52	41,86
-	H3	7266,968	7898,45	8,69
-	H4	7682,424	7845,19	2,12
-	H5	7890,992	9233,69	17,02
-	H6	8167,254	9212,11	12,79
+	S1	3311,302	2055,73	37,92
+	S2	5972,971	5657,96	5,27
+	S3	7266,968	5734,13	21,09
+	S4	7682,424	8184,37	6,53
+	S5	7890,992	8219,47	4,16
+	S6	8167,254	8806,94	7,83
+	D1	5320,525	4998,55	6,05
-	D2	4466,283	4560,66	2,11
+	D3	3678,837	2599,47	29,34
-	D4	2604,252	1776,24	31,79
+	D5	1922,187	1151,99	40,07
-	D6	1267,131	548,53	56,71
-	V0	-	4197,27	-
+	V2	-	1114,75	-
+	V6	-	973,5	-
+	HS	-	224,79	-
-		-	466,4	-
+	DS	-	851,59	-
-		-	373,71	-

V prípade, že model fungoval správne možno vidieť v tab. č.16, že dochádza k prekročeniu únosnosti druhej diagonály a horného stuženia pri vzpernom tlaku. Podobne k prekročeniu únosnosti D2 aj pri ručnom výpočte. Čo môže byť spôsobené aj tým, že sa vzperná vzdialenosť L_{cr} brala z hľadiska bezpečnosti, bez použitia koeficientu vzpernej dĺžky.

9. POSÚDENIE VYBRANÝCH SPOJOV

Pripojenie pozdĺžnika na priečnik:

Konštrukcia je vyhotovená z ocele C52 a nity z ocele C44, medz klzu je uvažovaná 360 MPa a medz únosnosti 510 MPa.



Obrázok 54: Pripojenie pozdĺžnika na priečnik

Vnútorne sily: $M_{Ed} = 312,74 \text{ kNm}$

$$V_{Ed} = 686,16 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 1082,0 \text{ kN}$$

Pomocou známej hodnoty momentu sa určia hodnoty síl v jednotlivých radoch pomocou momentovej podmienky: $M_{ed} = 2 \cdot \sum_i r_i \cdot F_{i,Ed}$

$$\text{Med} = 2 * \sum_i r_i * F_{i,Ed}$$

Tabuľka 18: Hodnoty síl

F1	44,21	kN
F2	39,84	kN
F3	36,15	kN
F4	30,86	kN
F5	25,56	kN
F6	20,26	kN
F7	14,97	kN
F8	9,67	kN
F9	2,53	kN
F10	0,00	kN

- **Priečník**

Posúdenie nitov na ťah [12]:

Celková normálová sila (sila v jednom nite od momentu + normálová sila v pozdĺžniku):

$$N_{Ed} = 1524,123 \text{ kN}$$

Únosnosť jedného nitu na ťah:

plocha nitu (d=23mm) $A_0 = 415,4765 \text{ mm}^2$

medz únosnosti nitov $f_{ur} = 510 \text{ MPa}$

súčiniteľ spoľahlivosti $\gamma_{M2} = 1,25$

Výpočet únosnosti :

$$F_{t,Rd} = \frac{0,6 \cdot f_{ur} \cdot A_0}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 510 \cdot 415,4765 \cdot 10^{-3}}{1,25} = 101,708 \text{ kN} \quad (24)$$

Pre jeden nit: $F_{t,Ed} = \frac{N_{cel,Ed}}{n} = \frac{1524,123}{20} = 76,206 \text{ kN} \quad (25)$

Posúdenie:

$$F_{t,Rd} \geq F_{t,Ed}$$

$$101,708 \text{ kN} \geq 76,206 \text{ kN} \quad \textbf{Vyhovuje}$$

Posúdenie na páčenie a stanovenie únosnosti náhradného T-profilu [12]:

Výpočet účinných dĺžok pre:

- kruhové porušenie (pre koncové rady nitov, pre radu nitov ako súčasť skupiny)

menšie z :

$$\pi \cdot m + p = \pi \cdot 45 + 95 = 236,372 \text{ mm}$$

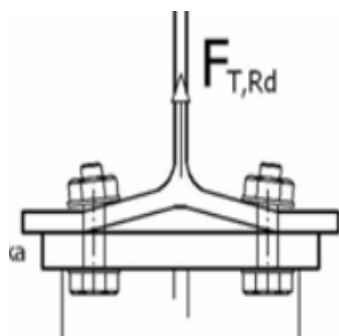
$$2 \cdot e_1 + p = 2 \cdot 55 + 95 = \mathbf{205,0 \text{ mm}}$$

- nekruhové porušenie (pre koncové rady nitov, pre radu nitov ako súčasť skupiny)

menšie z :

$$2 \cdot m + 0,625 \cdot e + 0,5 \cdot p = 2 \cdot 45 + 0,625 \cdot 55 + 0,5 \cdot 95 = 171,875 \text{ mm}$$

$$e_1 + 0,5 \cdot p = 55 + 0,5 \cdot 95 = \mathbf{102,5 \text{ mm}}$$



1.spôsob porušenia

$$l_{eff,1} = 102,5 \text{ mm}$$

$$\sum l_{eff,1} = 922,5 \text{ mm}$$

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{1}{4} \cdot \frac{\sum l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 11,96 \text{ kNm} \quad (26)$$

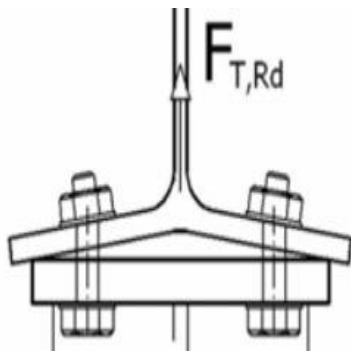
$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m} = 1062,72 \text{ kN} \quad (27)$$

Obrázok 55: Naznačenie 1.spôsobu porušenia [13]

Posúdenie: $N_{cel,Ed} = 1524,123 \text{ kN} \leq F_{T,1,Rd} = 1062,72 \text{ kN}$

Nevyhovuje

2.spôsob porušenia



$$l_{eff,2} = 102,5 \text{ mm}$$

$$\Sigma l_{eff,2} = 922,5 \text{ mm}$$

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{1}{4} * \frac{\Sigma l_{eff,2} * t_f^2 * f_y}{\gamma_{M0}} = 11,96 \text{ kNm} \quad (28)$$

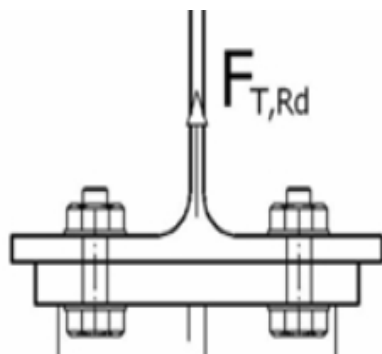
$$F_{T,1,Rd} = \frac{2 * M_{pl,2,Rd} + n * \Sigma F_{t,Rd}}{m+n} = 922,332 \text{ kN} \quad (29)$$

Obrázok 56: Naznačenie 2.spôsobu porušenia [13]

Posúdenie: $N_{cel,Ed} = 1524,123 \text{ kN} \leq F_{T,2,Rd} = 922,332 \text{ kN}$

Nevyhovuje

3.spôsob porušenia



$$F_{t,Rd} = 76,206 \text{ kN}$$

$$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 76,206 * 20 = 1524,12$$

Posúdenie:

$$N_{cel,Ed} = 1524,123 \text{ kN} \leq F_{T,3,Rd} = 1524,12 \text{ kN}$$

Nevyhovuje

Obrázok 57: Naznačenie 3.spôsobu porušenia [13]

Posúdenie na strih (jednostrižný):

$$V_{Ed} = 686,16 \text{ kN}$$

$$A_0 = 415,4765 \text{ mm}^2$$

$$f_{ur} = 510 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

Výpočet únosnosti :

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 * f_{ur} * A_0}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 * 510 * 415,4765 * 10^{-3}}{1,25} = 101,708 \text{ kN} \quad (30)$$

Pre jeden nit: $F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{n} = \frac{686,16}{20} = 34,308 \text{ kN} \quad (31)$

Posúdenie:

$$F_{v,Rd} \geq F_{v,Ed}$$

$$101,708 \text{ kN} \geq 34,308 \text{ kN}$$

Vyhovuje

Posúdenie na otlačenie [12]:

- posúdenie na najtenšom spájanom plechu L100/100/10

Vzdialenosti: $e_1 = 39 \text{ mm}$ $e_2 = 45 \text{ mm}$ $p_1 = 95 \text{ mm}$ $p_2 = 152 \text{ mm}$

Súčiniteľ α_b : $\min(1,0; f_{ub}/f_u; e_1/3d_0; p_1/3d_0 - 0,25)$
 $\min(1,0; 1,0; 0,565; 1,127) \rightarrow \alpha_b = 0,565$

Súčiniteľ k_1 : $\min(2,5; 2,8 * e_2/d_0 - 1,7)$
 $\min(2,5; 3,9) \rightarrow k_1 = 2,5$

Výpočet únosnosti :

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * f_u * d * t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 * 0,565 * 510 * 23 * 10 * 10^{-3}}{1,25} = 132,549 \text{ kN} \quad (32)$$

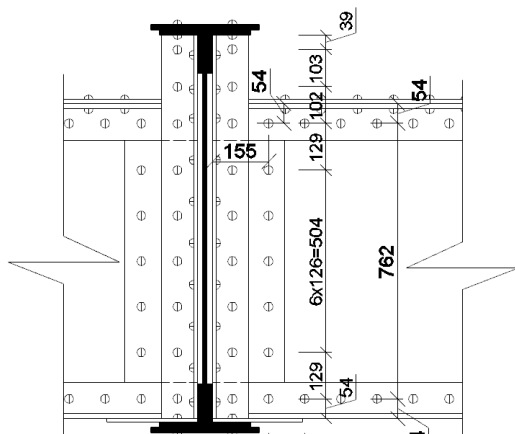
Pre jeden nit: $F_{b,Ed} = \frac{V_{Ed}}{n} = \frac{686,16}{20} = 34,308 \text{ kN} \quad (33)$

Posúdenie: $F_{b,Rd} \geq F_{b,Ed}$
 $132,549 \text{ kN} \geq 34,308 \text{ kN} \quad \textbf{Vyhovuje}$

Posúdenie na kombináciu strihu a ťahu [12]:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 * F_{t,Rd}} \leq 1,0 \quad (34)$$
$$\frac{34,308}{101,708} + \frac{76,206}{1,4 * 101,708} \leq 1,0$$
$$0,873 \leq 1,0 \quad \textbf{Vyhovuje}$$

• Pozdĺžnik



Obrázok 58: Schéma pre posúdenie na strih

Posúdenie na strih (dvojstrižný) [12]:

Výpočet únosnosti :

$$F_{v,Rd} = 2 * \frac{0,6 * f_{ur} * A_0}{\gamma_{M2}} \quad (35)$$

$$F_{v,Rd} = 2 * \frac{0,6 * 510 * 415,4765 * 10^{-3}}{1,25}$$

$$F_{v,Rd} = 203,416 \text{ kN}$$

Namáhanie od momentu v spoji:

$$F_1 = 44,21 \text{ kN}$$

Namáhanie od excentricity prípoja:

$$M_{e,Ed} = V_{Ed} * e = 686,16 * 0,155 = 106,355 \text{ kNm}$$

$$F_{e,Ed} = \frac{M_{e,Ed}}{p} = \frac{106,355}{0,762} = 139,573 \text{ kN}$$

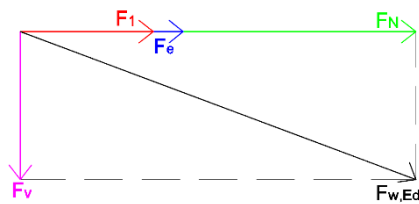
$$F_e = \frac{F_{e,Ed}}{n} = \frac{139,573}{14} = 9,97 \text{ kN}$$

Namáhanie od normálovej sily:

$$F_N = \frac{N_{Ed}}{n} = \frac{1082,0}{14} = 77,286 \text{ kN}$$

Namáhanie od posúvajúcej sily:

$$F_V = \frac{V_{Ed}}{n} = \frac{686,16}{14} = 49,011 \text{ kN}$$



Výslednica síl pre jeden spojovací prvok:

$$F_{w,Ed} = \sqrt{F_v^2 + (F_1 + F_e + F_N)^2} \quad (36)$$

$$F_{w,Ed} = \sqrt{49,011^2 + (44,21 + 9,97 + 77,286)^2}$$

$$F_{w,Ed} = 140,305 \text{ kN}$$

Obrázok 59: Schéma výslednice síl

Posúdenie:

$$F_{v,Rd} = 203,416 \text{ kN} \geq F_{w,Ed} = 140,305 \text{ kN} \quad \textbf{Vyhovuje}$$

Posúdenie na otláčenie [12]:

- posúdenie pre stojinu hrúbky 12 mm, priemer použitých nitov je 23 mm

$$\text{Vzdialenosti: } e_1 = 54 \text{ mm} \quad e_2 = 55 \text{ mm} \quad p_1 = 129 \text{ mm} \quad p_2 = 100 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Súčiniteľ } \alpha_b: & \min(1,0; f_{ub}/f_u; e_1/3d_0; p_1/3d_0 - 0,25) \\ & \min(1,0; 1,0; 0,783; 1,62) \quad \rightarrow \quad \alpha_b = 0,783 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Súčiniteľ } k_1: & \min(2,5; 2,8 * e_2/d_0 - 1,7) \\ & \min(2,5; 5) \quad \rightarrow \quad k_1 = 2,5 \end{aligned}$$

Výpočet únosnosti :

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * f_u * d * t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 * 0,783 * 510 * 23 * 12 * 10^{-3}}{1,25} = 220,486 \text{ kN} \quad (32)$$

Posúdenie:

$$\begin{aligned} F_{b,Rd} & \geq F_{w,Ed} \\ 220,486 \text{ kN} & \geq 140,305 \text{ kN} \quad \textbf{Vyhovuje} \end{aligned}$$

Posúdenie dosky na šmyk pre vytrhnutie skupiny spojovacích prvkov [12]:

Únosnosť kritického prierezu stojiny na šmyk

$h = 816 \text{ mm}$

$\check{s} = 45 \text{ mm}$

$tl = 12 \text{ mm}$

Oslabená plocha prenášajúca ťahovú silu: $A_{nt} = 402 \text{ mm}^2$

Oslabená plocha prenášajúca šmykovú silu: $A_{nv} = 7998 \text{ mm}^2$

Výpočet únosnosti:

$$V_{Rd} = \frac{0,5 \cdot A_{nt} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} + \frac{A_{nv} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M2}} \quad (33)$$

$$V_{Rd} = \frac{0,5 \cdot 402 \cdot 10^{-3} \cdot 510}{1,25} + \frac{7998 \cdot 10^{-3} \cdot 360}{\sqrt{3} \cdot 1,25} = 1411,89 \text{ kN}$$

Posúdenie:

$$V_{Rd} \geq V_{Ed}$$

$$1411,89 \text{ kN} \geq 686,16 \text{ kN}$$

Vyhovuje

10. ODPORÚČANIA PRE ZACHOVANIE KONŠTRUKCIE

Na to aby mostné konštrukcie, a nie len skúmaný most, plnili svoju funkciu a mali čo najväčšiu životnosť, je nutné im venovať dostatočnú pozornosť. Hlavnými činnosťami, ktoré ovplyvňujú stav konštrukcie je dostatočná prehliadka mostov a ich údržba.

Prehliadky mostov zabezpečujú prehľad o súčasnom stave mostu a umožňujú usmerňovať údržbu. Podľa periodicity môžeme tieto prehliadky rozdeliť na:

- Bežné - robia sa pravidelne po celý rok, počas tohto druhu prehliadky sa kontrolujú všetky dostupné časti mostu a odstraňujú sa menšie defekty;
- kontrolné – vykonávajú sa minimálne raz za rok.

Bežné a kontrolné prehliadky nám zabezpečujú aktuálne informácie o mostnom objekte.

- Hlavné – pravidelne po 4 rokoch,
- mimoriadne – po živelných pohromách, po dopravnej nehode, pri zmene zaťažiteľnosti, vzniku trhlin, nadmerných deformáciách

Pri hlavných a mimoriadnych sa kontrolujú viditeľne aj zakryté časti mostu, cudzie zariadenia na moste z hľadiska zaťažiteľnosti a použiteľnosti pri zachovaní bezpečnosti prevádzky. Musí byť preskúmaný celý objekt ako priestor pod mostom (či nedošlo k náhlejšiemu zmene dna rieky, odkrytiu základov), mostné podpery (zvetranie muriva, poškodenie nárazom), kontrola ložísk (vonkajší vzhľad, znečistenie, správnosť polohy), samotnú nosnú konštrukciu. Výsledkom tejto prehliadky je jeho zistenie prevádzkyschopnosti z hľadiska statickej a dynamickej funkcie konštrukcie.

Následne pomocou údržby sa most udržiava v riadnom stave, tak aby bola zabezpečená bežná dopravná prevádzka. Či už pomocou prevádzkovej údržby, kedy dochádza k čisteniu a menším úpravám mostu (napr. pri menších poškodeniach ocelevej konštrukcie koróziou, kedy sa zahrdzavené miesta očistia a pri vhodných klimatických podmienkach sa obnoví lokálne náter) alebo pomocou stavebnej údržby, ktorá je zameraná na nosnú konštrukciu mosta. Kedy sa odstraňujú chyby, ktoré už staticky ovplyvňujú most (napr. na oceľových mostov doťahovanie skrutkových spojov, kompletná obnova náteru). [4]

11. ZÁVER

Prvá časť bakalárskej práce bola venovaná prehĺbeniu teoretických znalostí o železničných mostoch, možných poruchách a následnej oprave týchto mostov. Nakoľko aj na území Slovenska sa nachádza stále veľké množstvo podobných mostov z čias po druhej svetovej vojne, je potrebné sledovať ich životnosť a spoľahlivosť, ktorá je ovplyvnená dostatočnou kontrolou, údržbou a následnou opravou.

Most síce prešiel v roku 2014 kompletným opieskovaním a následnou obnovou náteru, ale v súčasnosti už je možné nájsť opäť miesta, ktoré sú poškodené koróziou a budú vyžadovať časom opätovnú údržbu.

Druhá časť sa venovala ručnému a programovému posúdeniu existujúcej konštrukcie železničného mostu. Tu sa pomocou ručného zjednodušeného výpočtu zistilo, že druhá a štvrtá diagonála nevyhovuje na vzperný tlak. Pre porovnanie a získanie presnejších vnútorných síl bol vyhotovený priestorový model, ktorý na rozdiel od ručného prepočtu už zohľadňoval spolupôsobenie. Za predpokladu správneho modelu a následných vnútorných síl, ktoré v konštrukcii vznikali sa došlo k záveru, že nevyhovela posudku na vzperný tlak druhá diagonála (tak ako pri ručnom výpočte) a horné stuženie.

Súčasťou práce bolo aj vytvorenie projektovej dokumentácie mostu za pomoci miestnej obhliadky a zapožičanej dokumentácie. Tiež bol vyhotovený detail pripojenia pozdĺžnika na priečnik, ktorý bol v závere práce posúdený. Spoj nevyhovel na páčenie.

Cieľom mojej práce bolo získať väčší prehľad v ocelových konštrukciách a na základne výpočtu poukázať na možné nedostatky a problémové miesta konštrukcií ocelových železničných mostov.

12. ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] KVOČÁK, Vincent, Josef VIČAN, Jozef GOCÁL, Jaroslav ODROBIŇÁK a Richard HLINKA. *Navrhovanie ocel'ových mostov podl'a európskych noriem*. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2013. Edícia vedeckej a odbornej literatúry. ISBN 978-80-553-1614-7.
- [2] FALTUS, František. *Ocelové mosty příhradové, obloukové a visuté*. Praha: Academia, 1971.
- [3] PECHAR, Jiří, Jiří BUREŠ a Antonín SCHINDLER. *Kovové mosty*. 2., přeprac. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1990. ISBN 80-03-00523-X.
- [4] BUJŇÁK, Ján. *Kovové mosty: Spravovanie, údržba a rekonštrukcia*. Žilina: Žilinská univerzita, 2005. ISBN 80-8070-361-2.
- [5] TOMICA, Vladimír, Andrej SOKOLÍK a Štefan ZEMKO. *Údržba a rekonštrukcia mostov*. Bratislava: Alfa, 1992. ISBN 80-05-01025-7.
- [6] SCHINDLER, Antonín, Jiří BUREŠ a Jiří PECHAR. *Navrhování ocelových mostů*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1980.
- [7] *Pieskovanie a nátery* [online]. [cit. 2021-04-17]. Dostupné z: <http://www.pieskovanie-natery.sk/zeleznicny-most-turany>
- [8] TOMICA, Vladimír, Ján BUJŇÁK a Josef VIČAN. *Kovové mosty*. Žilina: Vysoká škola dopravy a spojov, 1992. ISBN 80-7100-104-X.
- [9] ČSN EN 1991-2: Zatížení konstrukcí. Část 1: Zatížení mostů dopravou.
- [10] ROTTER, Tomáš a Jiří STUDNIČKA. *Ocelové konstrukce 30*. Vyd. 2. přepr. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001. ISBN 80-01-02380-x.
- [11] TP 42 – OPRAVY, OBNOVY A PŘESTAVBY OCELOVÝCH KONTRUKCÍ MOSTU.
- [12] ČSN EN 1993-1-1: Navrhování ocelových konstrukcí. Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.
- [13] *Spoje ocelových konstrukcí* [online]. [cit. 2021-04-29]. Dostupné z: <http://ocel.wz.cz/sroubove-spoje/vliv-paceni.php?fbclid=IwAR10TZ49FI62NlgkfywqTGjNX6t8PWTWm0xwgB0YrJ-Bbmiqc0c-vzyvkVE>

13. ZOZNAM PRÍLOH

1. Ručný výpočet posúvajúcich síl
2. Rozšírená tabuľka výpočtu na tlak
3. Výkres č.1: Dispozícia mostu
4. Výkres č.2: Detaily

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí

Príloha č.1

Študent:

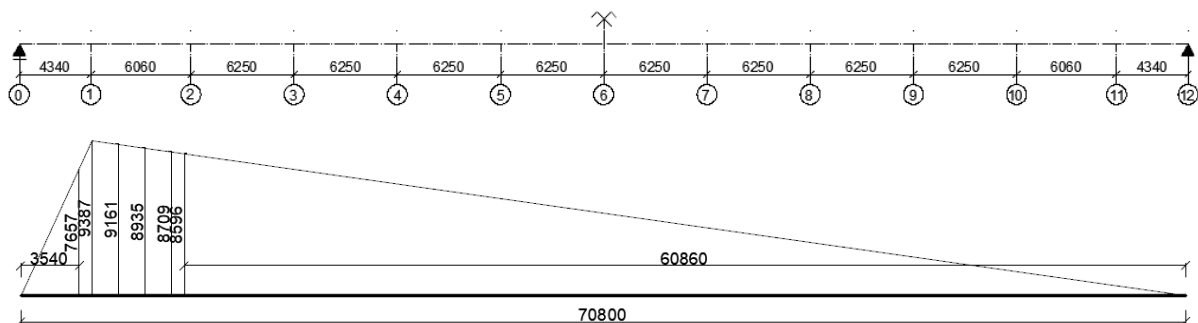
Dolinajcová Monika

Vedúci bakalárskej práce:

Ing. Miroslav Rosmanit, Ph.D.

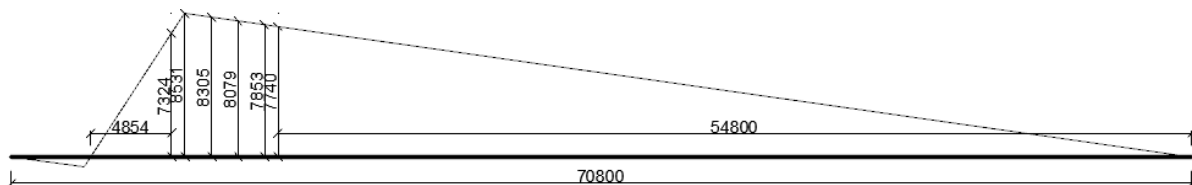
Ostrava 2021

ZAŤAŽENIE OD LM 71



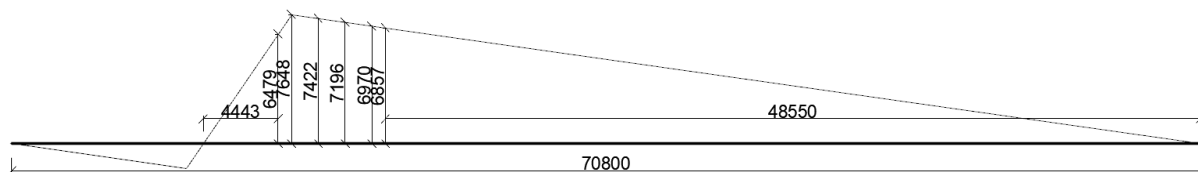
POLE 0-1:

Jednotlivé sily		Hodnota vplyv. účinku		Posúvajúca sila [kN]
1	241,244 kN	0,9387		226,456
2		0,9161		221,004
3		0,8935		215,552
4		0,8709		210,099
Spojité zaťaženie		Priemerná vplyvová hodnota	Účinná dĺžka [m]	Posúvajúca sila [kN]
q ^r	77,198 kN/m	0,3829	3,54	104,639
q ^p		0,4298	60,86	2019,317
Súčet posúvajúcich síl pre pole 0-1 :				2997,066 kN



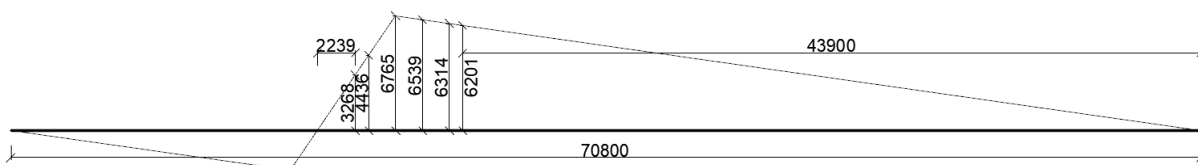
POLE 1- 2:

Jednotlivé sily		Hodnota vplyv. účinku		Posúvajúca sila [kN]
1	241,244 kN	0,8531		205,805
2		0,8305		200,353
3		0,8079		194,901
4		0,7853		189,449
Spojité zaťaženie		Priemerná vplyvová hodnota	Účinná dĺžka [m]	Posúvajúca sila [kN]
q ^r	77,198 kN/m	0,3662	4,854	137,222
q ^p		0,387	54,8	1637,184
Súčet posúvajúcich síl pre pole 1-2 :				2564,915 kN



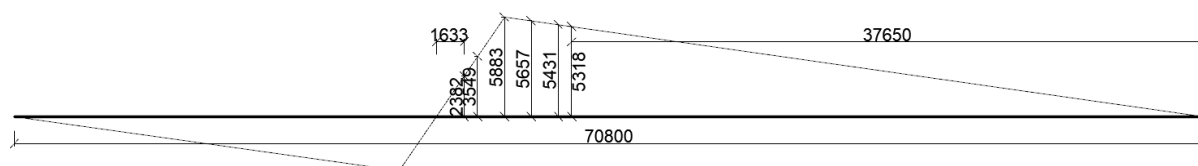
POLE 2- 3:

Jednotlivé sily		Hodnota vplyv. účinku		Posúvajúca sila [kN]
1	241,244 kN	0,7648		184,503
2		0,7422		179,051
3		0,7196		173,599
4		0,6970		168,147
Spojité zaťaženie		Priemerná vplyvová hodnota	Účinná dĺžka [m]	Posúvajúca sila [kN]
q ^r	77,198 kN/m	0,324	4,443	111,129
q ^p		0,343	48,55	1285,551
Súčet posúvajúcich síl pre pole 2-3 :				2101,981 kN



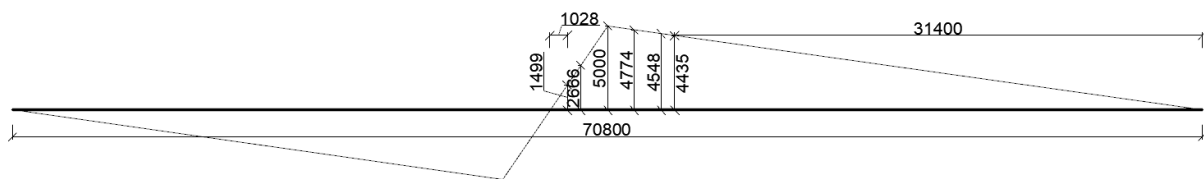
POLE 3- 4:

Jednotlivé sily		Hodnota vplyv. účinku		Posúvajúca sila [kN]
1	241,244 kN	0,4436		107,016
2		0,6765		163,202
3		0,6539		157,749
4		0,6314		152,321
Spojité zaťaženie		Priemerná vplyvová hodnota	Účinná dĺžka [m]	Posúvajúca sila [kN]
q ^r	77,198 kN/m	0,1634	2,239	28,243
q ^p		0,3101	43,90	1050,926
Súčet posúvajúcich síl pre pole 3-4 :				1659,458 kN



POLE 4- 5:

Jednotlivé sily		Hodnota vplyv. účinku		Posúvajúca sila [kN]
1	241,244 kN	0,3549		85,617
2		0,5883		141,924
3		0,5657		136,472
4		0,5431		131,020
Spojité zaťaženie		Priemerná vplyvová hodnota	Účinná dĺžka [m]	Posúvajúca sila [kN]
q ^p	77,198 kN/m	0,1191	1,633	15,014
q ^p		0,2659	37,65	772,840
Súčet posúvajúcich síl pre pole 4-5 :				1282,887 kN



POLE 5- 6:

Jednotlivé sily		Hodnota vplyv. účinku		Posúvajúca sila [kN]
1	241,244 kN	0,2666		64,316
2		0,50		120,622
3		0,4774		115,170
4		0,4548		109,718
Spojité zaťaženie		Priemerná vplyvová hodnota	Účinná dĺžka [m]	Posúvajúca sila [kN]
q ^p	77,198 kN/m	0,075	1,028	5,935
q ^p		0,222	31,4	538,132
Súčet posúvajúcich síl pre pole 5-6 :				953,892 kN

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí

Príloha č.2

Študent:

Dolinajcová Monika

Vedúci bakalárskej práce:

Ing. Miroslav Rosmanit, Ph.D.

Ostrava 2021

VÝPOČET POMOCOU PROGRAMU - TLAK

Ozn. průtu	Rovina	N _{Ed} [kN]	Délka L [m]	L _{cr} (m)	A [m2]	f _{yEd} [MPa]	I (m4)	i (m)	kr. štihošťλ	P. štihošť	Ø	N _{cr} (kN)	štihošťλ	s. vzperu χ	N _{b,Rd} (kN)	N _{Ed} /N _{b,Rd}
D2	Y	4560,66	9,075	9,075	3,35E-02	360	2,29E-04	0,083	109,816	1,447	1,85	5763,67	109,82	0,332	4010,20	1,137
	Z	4560,66	9,075	9,075			1,23E-03	0,191	47,463	0,626	0,80	30854,34	47,46	0,770	9297,36	0,491
D4	Y	1776,24	10,501	10,501	2,59E-02	360	1,56E-04	0,078	135,305	1,783	2,48	2934,00	135,30	0,238	2221,80	0,799
	Z	1776,24	10,501	10,501			9,63E-04	0,193	54,465	0,718	0,88	18107,18	54,47	0,714	6657,45	0,267
D6	Y	548,53	10,957	10,957	2,36E-02	360	1,32E-04	0,075	146,617	1,933	2,79	2279,68	146,62	0,208	1770,79	0,310
	Z	548,53	10,957	10,957			8,77E-04	0,193	56,883	0,750	0,92	15144,99	56,88	0,694	5904,40	0,093
H1	Y	3472,49	10,609	10,609	3,78E-02	360	1,02E-03	0,164	64,602	0,852	1,02	18792,44	64,60	0,630	8580,38	0,405
	Z	3472,49	4,427	4,427			2,04E-03	0,232	19,071	0,251	0,54	215644,57	19,07	0,974	13266,55	0,262
H2	Y	3472,52	10,609	10,609	3,78E-02	360	1,02E-03	0,164	64,602	0,852	1,02	18792,44	64,60	0,630	8580,38	0,405
	Z	3472,52	6,186	6,186			2,04E-03	0,232	26,648	0,351	0,60	110442,88	26,65	0,923	12571,01	0,276
H3	Y	7898,45	6,327	6,327	3,78E-02	360	1,02E-03	0,164	38,527	0,508	0,70	52836,78	38,53	0,839	11423,77	0,691
	Z	7898,45	6,327	6,327			2,04E-03	0,232	27,255	0,359	0,60	105575,20	27,26	0,919	12514,45	0,631
H4	Y	7845,19	6,289	6,289	3,78E-02	360	1,02E-03	0,164	38,296	0,505	0,70	53477,22	38,30	0,840	11447,09	0,685
	Z	7845,19	6,289	6,289			2,04E-03	0,232	27,092	0,357	0,60	106854,88	27,09	0,920	12529,71	0,626
H5	Y	9233,69	6,264	6,264	3,78E-02	360	1,02E-03	0,164	38,144	0,503	0,70	53904,94	38,14	0,841	11462,41	0,806
	Z	9233,69	6,264	6,264			2,04E-03	0,232	26,984	0,356	0,60	107709,51	26,98	0,921	12539,74	0,736
H6	Y	9212,11	6,252	6,252	3,78E-02	360	1,02E-03	0,164	38,070	0,502	0,70	54112,07	38,07	0,842	11469,75	0,803
	Z	9212,11	6,252	6,252			2,04E-03	0,232	26,932	0,355	0,60	108123,38	26,93	0,921	12544,55	0,734
V0	Y	4197,27	4,661	4,661	2,76E-02	360	1,56E-04	0,075	62,074	0,818	0,99	14851,34	62,07	0,651	6467,95	0,649
	Z	4197,27	4,661	4,661			1,02E-03	0,192	24,238	0,319	0,58	97406,19	24,24	0,939	9335,10	0,450
H5	Y	466,4	4,1915	4,1915	3,84E-03	360	5,65E-06	0,038	109,307	1,441	1,84	666,61	109,31	0,335	462,76	1,008
	Z	466,4	4,1915	4,1915			9,99E-06	0,051	82,202	1,084	1,30	1178,71	82,20	0,493	682,14	0,684
D5	Y	373,71	4,092	4,092	5,90E-03	360	7,99E-06	0,037	111,197	1,466	1,88	989,32	111,20	0,326	692,47	0,540
	Z	373,71	4,092	4,092			1,15E-05	0,044	92,648	1,221	1,50	1425,11	92,65	0,424	900,41	0,415